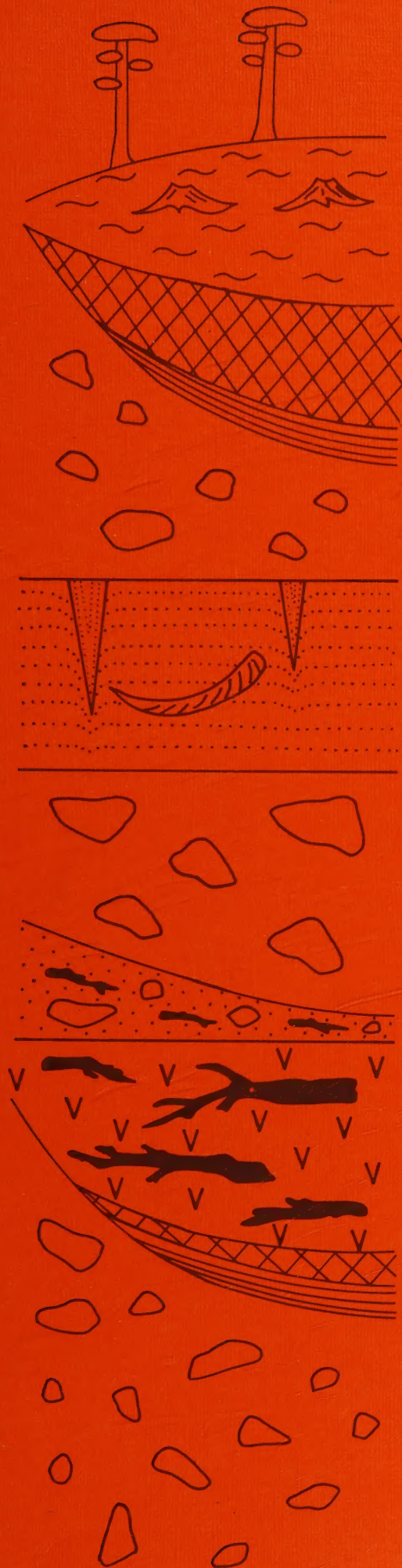




UNIVERSITY OF LUND
DEPARTMENT OF
QUATERNARY GEOLOGY

Thesis 8

ANDERSSON, O.H.:
BORRNING OCH DOKUMENTATION
Borrningsteknik jämte metodik
för geologisk datainsamling
under borrhings gång

Lund 1981

CODEN: LUND/ANB-4-2008/1-201/1981

BORRNING OCH DOKUMENTATION -
BORRNINGSTEKNIK JÄMTE METODIK FÖR GEOLOGISK
DATAINSAMLING UNDER BORRNINGSGÅNG

av

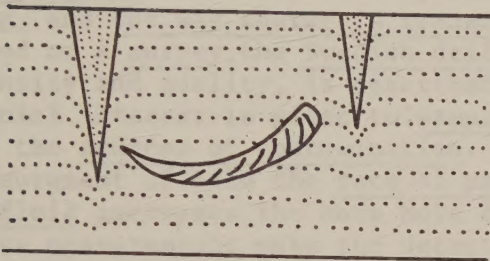
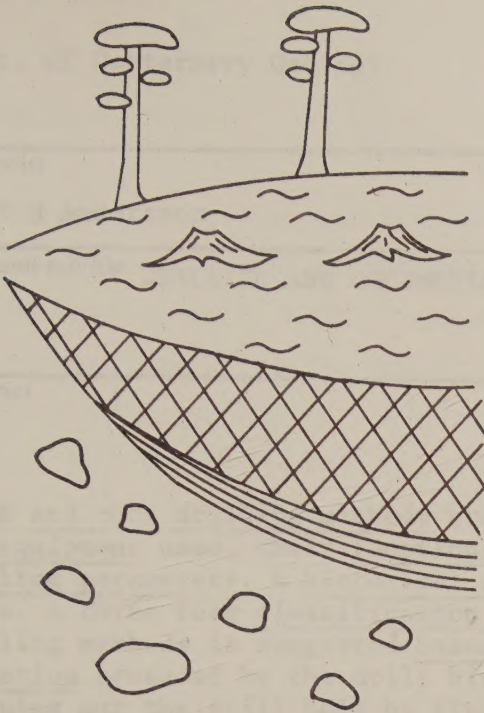
Olof H. Andersson
Fil. kand., SmI

ANDERSSON, O. H.
BORRNING OCH DOKUMENTATION -
BORRNINGSTEKNIK JÄMTE METODIK
FÖR GEOLOGISK DATAINSAMLING
UNDER BORRNINGSGÅNG

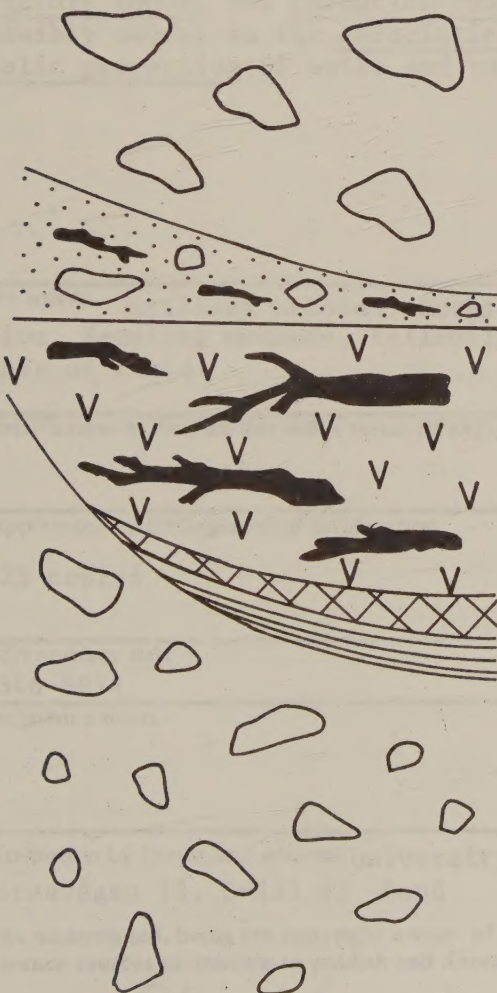
Avhandling

Att med tillstånd av matematisk-naturvetenskapliga
fakulteten vid Lunds universitet för avläggande av
filosofie doktorsexamen offentligen försvaras i
Geografiska institutionens föreläsningssal, Sölve-
gatan 13, Lund, torsdagen den 4 juni 1981 kl. 9.15

Geol. och Naturvetenskapliga Fakulteten
Föreläsningssal 13
Sölvegatan 13
Lund
S-223 63 Lund



THESIS 8



ANDERSSON, O. H.:
BORRNING OCH DOKUMENTATION -
BORRNINGSTEKNIK JÄMTE METODIK
FÖR GEOLOGISK DATAINSAMLING
UNDER BORRNINGSGÅNG

LUND 1981

Distribution:

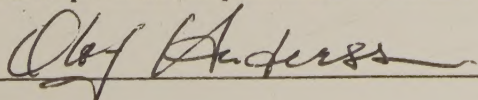
Dept. of Quaternary Geology
Tornavägen 13
S-223 63 LUND
Sweden

Organisation LUND UNIVERSITY		Document name DOCTORAL DISSERTATION	
Dept. of Quaternary Geology		Date of issue 1981-05-14	
		CODEN: LUNBDS/(NBGK-1008)/1-281/(1981)	
Author(s) Olof H Andersson		Sponsoring organisation	
Title and subtitle DRILLING AND DOCUMENTATION			
Abstract		A4	A5
Earth and rock drilling methods are described, including the equipment used, their functions, and the different drilling parameters. A historical review of drilling is also given. A three fold classification system for conventional drilling methods is suggested based on; the type of disintegration produced by the drill bit, the method used for cleaning out the drill hole by flushing or mechanical lifting, and the way energy is transmitted to the drill bit. Based on a survey, the Swedish drilling market, in terms of quantity and quality, is described. Special interest is given to sampling methods, sample errors and the sources of contamination. Finally it is stated that measurement of both the rate of penetration and the loss of fluid increases the bore hole documentation quality. These measurements make the detection of permeable zones, fracture zones, and formation contacts easier, and are possibly useful in the calculation of mechanical and hydraulic properties of soils and rocks.			
Key words		A4	A5
Drilling methods. Rocks and soils. Classification. Sampling methods. Reliability. Rate of penetration. Loss of fluid.			
Classification system and/or index terms (if any)			
Supplementary bibliographical information		Language Swedish	
625 copies			
ISSN and key title 0346-8976		ISBN	
Recipient's notes		Number of pages 281	Price 30 Skr
		Security classification	

Distribution by (name and address) University of Lund. Dept. of Quaternary Geology,
Tornavägen 13, S-223 63 Lund

I, the undersigned, being the copyright owner of the abstract of the above-mentioned dissertation, hereby grant to all reference sources permission to publish and disseminate the abstract of the above-mentioned dissertation.

Signature



Date 1981-05-14.

FÖRORD

Resultat från borrhningar bildar ofta grunden till långtgående vetenskapliga och tekniska tolkningar. Trots detta finner man inte annat än i undantagsfall diskussion eller referenser över borrhningsförfarande, provtagningsteknik etc i litteraturen, oavsett om denna är av vetenskaplig eller tillämpad karaktär. Inte heller ifrågasätts resultatens tillförlitlighet lika lite som olika metoders lämplighet. Allt detta pekar enligt min mening på att det finns en betydande kunskapslucka inom det borrhnings- och dokumentationstekniska ämnesområdet.

Föreliggande studie är ämnad att bilda plattform till en dokumentationsteknisk utveckling vid borrhning. En sådan utveckling skulle förhöja kvalitén på vetenskapliga och tillämpade geologiska undersökningar där borrhningar används för datainsamling.

Materialet till denna avhandling har vuxit fram successivt under en tioårsperiod där min yrkesverksamhet som geolog vid VIAKs grundvattenavdelning i Malmö varit av primär betydelse. Mina första två år på denna avdelning bestod just i att följa de sk skotthålsborrningar som Oljeprospektering AB lät utföra i sydvästra Skåne under åren 1970-1972. Redan då upptäckte jag att man kunde registrera betydligt mera av geologin än vad äldre borrhprotokoll berättade.

I mitten på 70-talet hade jag, bl a efter en del fältförsök i samband med undersökningsborrningar, samlat ett så stort bakgrundmaterial att jag fick STUs (Styrelsen för Teknisk Utveckling) förtroende till en mer målinriktad forskning med ett projekt benämnt "Dokumentationsteknik vid undersökningsborrhning med tyngre utrustning". Detta projekt har en kunskapsutvecklande del vilken består i att teoretiskt och genom praktiska fältförsök utarbeta metodik för insamling och utvärdering av data som kan erhållas under borrhningens gång. En betydande del av stoffet till denna avhandling har sitt ursprung i detta projekt, vilket drivs vid Avdelningen för Kvartärgeologi vid Lunds Universitet.

För del i denna avhandlings tillkomst vill jag först rikta ett varmt tack till professor Björn Berglund, som trots det udda ämnesvalet ändå understött mig och haft förståelse för den tillämpade inriktning som avhandlingen representerar.

Vidare vill jag tacka alla kolleger vid Kvartärgeologiska avdelningen och särskilt då Erik Lagerlund för många givande allmänvetenskapliga diskussioner som indirekt kommit avhandlingen till del. Jag vill också särskilt tacka Hreggvidur Norddahl för värdefull hjälp med enkätundersökningen.

För gott samarbete och manuskriptgranskning vill jag tacka min samarbetspart i STU-projektet Peter Ulriksen vid Lunds Tekniska Högskola. För stöd och gott samarbete tackar jag också kollega Leif Bjelm på samma lärosäte.

För hjälp med mina undersökningar och för värdefulla diskussioner riktar jag också ett varmt tack till Kennert Röshoff och Per-Erik Lindvall vid Tekniska Högskolan i Luleå.

Jag vill också tacka alla mina kollegor på VIAKs grundvat-tenavdelning som direkt eller indirekt hjälpt mig samla material till avhandlingen och vars samlade erfarenhet kommit avhandlingen till del. Särskilt vill jag nämna Kaj Nilsson, som också granskat manuskriptet.

Vidare vill jag tacka VIAK för de personella och materiella resurser som välvilligt ställts till mitt förfogande och framför allt vill jag rikta ett varmt tack till Anita Persson och Anita Reslow, som utfört det tunga rit- och skrivarbetet med en stor portion välvilja och många sena arbetstimmar.

Sist, men allra mest, vill jag framföra mitt varma tack till min fru Ann-Sofie, som understött mig på alla tänkbara sätt samt till min dotter Jenny som låtit pappa arbeta ostört under det pressande slutskedet.

Malmö i april 1981

Olof Andersson

INNEHALL

sid

BETECKNINGAR

vii

SAMMANFATTNING

ix

1.	BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNINGAR OCH SYFTE	1
1.1	Borrningen - en viktig men försummad diciplin inom geoområdet	1
1.2	Borrningen som vetenskap	2
2.	DEN TUNGA BORRNINGENS TIDIGA HISTORIA OCH UTVECKLING I MORDERN TID	6
2.1	Antika borraringsmetoder	6
2.1.1	Den kinesiska linstöten	6
2.1.2	Det "grävda" kanatsystemet	8
2.1.3	Femtusenårig "diamantborrning"	10
2.2	Den moderna borrarningsteknikens framväxt	13
2.2.1	Inom gruvindustrin	14
2.2.2	Inom oljeindustrin	15
2.2.3	Inom brunnsborrningsbranschen	16
2.2.4	Inom geotekniken	17
2.2.5	Sammanfattande syntes	18
3.	BORRNINGSMETODISK NOMENKLATUR OCH KLASSIFICERING	19
3.1	Bakgrund	19
3.2	Svensk klassificering. Begreppsanalys	20
3.3	Klassificering utomlands	26
3.3.1	Inom den geotekniska sektorn ("site investigations")	26
3.3.2	Inom brunnsborrningsbranschen ("water well drilling")	30
3.3.3	Inom sten- och gruvindustrin ("rock-drilling")	37
3.4	Klassificeringsgrunder	44
3.4.1	Angreppssätt	44

3.4.2	Destruktionsprocessen	46
3.4.3	Kraftöverföringen	54
3.4.4	Hålrensningen	56
3.5	Förslag till klassificeringssystem	58
4	BESKRIVNING AV DE VANLIGASTE TUNGA BORRNINGSMETODERNA	62
4.1	Allmän bakgrund	62
4.2	Stötborrningsmetoder	64
4.2.1	Linstötborrning	64
4.2.2	Stångborrning	71
4.3	Hammarborrningsmetoder	71
4.3.1	Topp- och sänkhammarborrning	73
4.3.2	Ringkrone- och excenterborrning	81
4.4	Rotationsborrningsmetoder	87
4.4.1	Rotationsborrning med direktspolning	88
4.4.2	Rotationsborrning med omvänd spolning	104
4.4.3	Diamantborrning	107
4.4.4	Skruv- och augerborrning	111
4.5	Rördrivningsmetoder	115
5.	DEN TUNGA BORRNINGEN I SVERIGE ÅREN 1966-1976 RESULTAT AV ENKÄTUNDERSÖKNING	120
5.1	Bakgrund och frågeställningar	120
5.2	Utformning, genomförande och bearbetning	122
5.3	Resultat i sammanfattning	126
5.3.1	Maskinparkens förändring 1966-1976	126
5.3.2	Rotationsborrtrusningarnas fördelning på funktion och borraringsmetod	129
5.3.3	Maskinstorlek och terrängframkomlighet	131
5.3.4	Borrhåls- och beläggningssstatistik	134
5.3.5	Borrningarnas fördelning på ändamål	140
5.3.6	Borrningen fördelat på olika jord- och bergslager	143
5.3.7	Borrningstekniska svårigheter i olika jord- och bergmaterial	146
5.3.8	Protokollföring, provtagning och annan registrering	150

6	STÖRD PROVTAGNING VID TUNG UNDERSÖKNINGS- BORRNING - BORRNINGSTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR, METODIK- OCH TILLFÖRLITLIGHETSANALYS	155
6.1	Bakgrund	155
6.2	Provtagning vid linstötborrning	158
6.3	Provtagning vid rotationsborrning med vätskespolning	161
6.3.1	Kaxbildning och kaxtransport	162
6.3.2	Provtagningssteknik och felkällor	165
6.3.3	Användande av spolmedeltillsatser	177
6.3.4	En studie av kaxets kornstorlek i förhållande till bergart	180
6.4	Provtagning vid hammarborrning med luft- spolning	184
6.4.1	Kaxproduktion och kaxtransport	184
6.4.2	Provtagning - provkvalitet	186
6.4.3	Luftcyklon för provtagning - en metodstudie	191
6.4.4	Bergartsbetingad kornfördelning på kax	193
6.5	Provtagning vid rödrivning	195
6.5.1	Provtagningsmetodik och provkvalitet	195
6.5.2	Inträngning i perforerat rör under grundvattennivå	199
6.5.3	Jämförelse av provkvalité med hänsyn till provtagningsspets	201
7.	MÄTNING AV BORRSJUNKNING OCH SPOLFÖRLUSTER I DOKUMENTÄRT SYFTE	205
7.1	Borrsjunkningsparametern. Allmän introduktion	207
7.1.1	Borrsjunkning vid rödrivning	209
7.1.2	Borrsjunkningsförloppet vid hammarborrning i jordlager	215
7.1.3	Borrsjunkningsmätning för bestämning av borrh- barhet och bergmekaniska parametrar	217
7.1.4	Borrsjunkningens samband med bergmekaniska parametrar vid diamantborrning	224
7.1.5	Försök med borrsjunkningsmätning vid rotationsborrning med direktspolning	230

7.1.6	Bestämning av bergkvalitet genom sondering vid hammarbörning	234
7.1.7	Kontinuerlig registrering av borrarjunkning för sprickindikering	239
7.2	Spolflödesmätning	245
7.2.1	Teoretisk bakgrund	246
7.2.2	Spolförlustens användbarhet för analys av hydrauliska parametrar. Resultat av några försök	253
LITTERATUR		261
BILAGA		273
Kartläggning tyngre borrarutrustning, frågeformulär 1 och 2		

BETECKNINGAR

A	(m ²)	Genomströmningsareal
A'	(in ² , m ²)	Effektiv nötningsarea
A ₁	(-)	Borrkronekonstant
a	(-)	Friktionskoefficient
B	(in)	Borrsjunkning/varv
B ₁	(-)	Borrkronekonstant
b	(-)	Konstant för borraringsparametrar
D	(kg/cm ² , psi, Pa)	Tryckhållfasthet, enaxiell
D	(in, tum, m)	Borrkrone- och håldiameter
D _p	(lb/gal, g/cm ³)	Partikeldensitet
D _v	(lb/gal, g/cm ³)	Spolvätskedensitet
d	(in, mm)	Korndiameter
d _n	(mm)	Den maskvidd där n % passerar
E	(kg/cm ² , Pa)	Elastisitetsmodul
e	(-)	Proportionalitetskonstant
F _v	(lb, kg)	Tryck på borrkrona
f	(m ⁻¹)	Styrkegradstal
H	(in, m)	Höjd, mäktighet
h	(cm)	Relativ vattennivå
I	(m/s)	Permeabilitetsindex
i	(-)	Flödesgradient
K	(m/s)	Permeabilitet
K'	(-)	Skalfaktor
K _o	(-)	Borrsjunkningsparameter
K	(-)	Grafisk kurv lutning
N	(rpm, vpm)	Rotationshastighet
n	(%, st)	Antal, mängd
P	(lb/in ²)	Arbete, energi
P'	(mvp)	Hydrostatisk tryckskillnad
P _A	(mvp)	Portryck
P _S	(mvp)	Tryckhöjd spolvätska
PR	(in/min, min/m)	Borrsjunkning
Q	(m ³ /s)	Vätskeflöde
Q _s	(m ³ /s, l/min)	Spolförlust

R	(-)	Multipel korrelationskoefficient
R ₀	(in/min)	Initiell borrsjunkning
r'	(-)	Korrelationskoefficient
S	(ft-lb/in ³)	Specifik energi
S'	(ft-lb/in ³)	Korrigerad specifik energi
S ₀	(psi)	Borrbarhet, diamantborrning
T	(m ² /s)	Transmissivitet
T'	(m ² /s)	Transmissivitetsindex
u	(centipoise)	Ekvivalent viskositet, spolvätska
V	(m/s)	Flödeshastighet
V _p	(ft/min, m/s)	Relativ partikelhastighet
V _s	(ft/min, m/s)	Partikels sedimentationshastighet
V _v	(ft/min, m/s)	Flödeshastighet, spolvätska

SAMMANFATTNING

Provtagning och annan dokumentation av jord- och berglager med hjälp av borrhning utgör en av de viktigaste fältundersökningsmetoderna vid såväl vetenskapligt inriktade som tillämpade geologiska undersökningar. Jämfört med många andra fältundersökningsmetoder är detta ämnesområde dock åsidosatt. Någon utbildning av nämnvärd grad förekommer inte och den metodbeskrivande litteraturen är minst sagt ofullständig. Dessa förhållanden leder fram till huvudsyftet med avhandlingen, nämligen att

- kartlägga, beskriva och klassificera de vanligaste borrhningsmetoderna till funktion och användbarhet i olika geologiska miljöer

och att med detta som utgångspunkt

- anvisa metodik för hur jord- och berglagren, med enkla medel, skall kunna dokumenteras under borrhnings gång samt med vilken tillförlitlighet detta kan göras.

Studien är i första hand ämnad att bilda grundstomme till en fördjupad dokumentationsteknisk utveckling, kapitel 1.

Den borrningstekniska utvecklingen har anor långt bak i tiden. Redan i antiken behärskade man tekniken att borra eller gräva brunnar bl a i Kina och i de arida områdena i Mellersta östern. Den även idag använda linstötmetoden tros exempelvis ha utvecklats i Kina ett par hundra år före Kristi födelse. Från Egypten har man hittat spår av skärande kärnborrhning som dateras till tidig dynastisk kultur.

I modern tid och parallellt med västvärldens industrialisering har borrhningsmetoderna utvecklats inom och anpassats till olika branscher. Av dessa är oljeindustrin, sten- och gruvindustrin, brunnsborrningsbranschen samt det geotekniska ämnesområdet de mest framträdande, kapitel 2.

Borrningsmetodernas branschtillhörighet återspeglas också i den borrarstekniska nomenklaturen vilken kännetecknas av dåligt systematiserade termer och begrepp.

I syfte att inordna de vanligaste konventionella borrar-metoderna i ett klassificeringssystem visas hur detta kan åstadkommas med hjälp av tre funktionella parametrar. Dessa har benämnts destruktionsprocessen (sättet varpå fasta formationer bryts ned och lösa formationer luckras upp), kraftöverföringen (sättet varpå nödvändig energi tillföres borrarverkyget) samt hållrensningen (sättet varpå lösgjort material fås ur borrhålet). Systemets tillämpning på de vanligaste svenska borrar-metoderna framgår av tabell 3.1. Klassificeringsprincipen antas kunna användas för all borrar-ning där destruktionsen sker genom mekaniskt inducerad spänning, kapitel 3.

För att rätt kunna bedöma och utvärdera en undersökningsborrar-ning med provtagning och annan registrering fordras en viss förståelse för varje borrar-metods prestanda och funktion. Av denna anledning har de vanligast förekommande borrar-metoderna beskrivits avseende utrustning, borrar-moment, förfaringssätt, borrar-parametrar m m. Beskrivningen är också ämnad ge underlag för bedömning av varje metods användbarhet i olika geologiska miljöer, kapitel 4.

För att få en samlad bild av den svenska borrar-branschen har en enkätundersökning utförts, vilken täcker alla branscher där tyngre borrar-ning förekommer. Frågorna (bilaga 1) utformades så att både kvantitativa och kvalitativa utvärderingar kunnat göras. Enkätresultaten visar på en kraftig tillväxt av roterande och slående borrar-metoder (rotationsborrar-ning med direktspolning och hammarborrar-ning) under 1970-talet och då på bekostnad av den äldre och långsammare linstöt-metoden.

Av all borrar-ning i Sverige uppgår den del som kan betecknas vara borrar-ning i undersökande syfte till ca 10 % eller i storleksordningen 15000 borrar-ningar per år, varav ca hälften är kärnborrar-ning.

Vad gäller protokollförelring, provtagning och annan registrering visar enkäten på betydande skillnader mellan olika branscher. Provtagning och därmed lagerföljdsbeskrivning samt mätning av grundvattennivå är den vanligaste formen av dokumentation och görs i genomsnitt vid var tredje brunnborrning och vid ca två av tre tillfällen vid annan borrning. Även systematisk borrhjunksmätning förekommer ofta men varierar beroende på bransch mellan 20 och 85 %. Systematisk spolförlustmätning förekommer sparsamt inom alla branscher, kapitel 5.

Förutsättningarna för tagning av störda prover och dessas tillförlitlighet varierar i hög grad med vilken borrhjningsmetod som används och med vilket förfaringsätt prover tas.

Vid linstötborrhjning fås normalt prover av god kvalitet. Upphämtning med sandpump innebär att provet dessutom går att relatera till en bestämd nivå. Vissa felkällor, bl a inflytningsfenomen, kan uppträda, men är förhållandevis små, kapitel 6.2.

De borrhjningsmetoder som bygger på att borrhkaxet spolas upp ur hålet med spolvätska ger prover av skiftande kvalitet. Detta beror bl a på att själva tekniken för provtagning (dvs sättet att separera kax från spolvätska) kan göras på flera olika sätt. Det största problemet består av suspenderade finpartiklar, som cirkulerar i det "slutna" spolvätskesystemet. Även dessa går dock att separera med hjälp av hydrocyklon. Denna teknik har ännu inte provats i Sverige.

Ett annat problem består i att tagna prover är svåra att relatera till nivå. Detta beror till stor del på att kaxpartiklar med olika storlek transporteras upp ur hålet med olika hastighet. En partikel med $\emptyset$ 6 mm når exempelvis markytan med halva den hastighet som en partikel med $\emptyset$ 2 mm. Resultatet blir en separation av kaxet efter kornstorlek. Detta innebär också att provtagningen kan ge helt felaktiga såväl lagerföljder som

lagersammansättningar. Problemet undvikas i stor utsträckning om borrhningen kan göras i intervaller, där kaxet från olika nivåer spolas upp var för sig. Ett annat sätt att minska kaxsammansamblandning från olika nivåer är att göra spolvätskan högviskös. Detta inverkar dock negativt på kaxavskiljningen uppe vid markytan.

Borrkaxets sammansättning står ofta i ett direkt samband med jord- eller bergartens textur, struktur och konsolideringsgrad. Från lösa (och ibland halvfasta) formationer kommer kaxet självfallet upp som ursprungliga "byggelement", medan hårdare formationer ger kax i form av fragment. Kornfördelningensmässigt koncentreras fragmenten till vissa fraktioner, vilka karaktäriserar formationen. Sannolikt finns också ett samband mellan kornfördelning på kaxet och mekaniska egenskaper på den formation från vilken det härstammar

kapitel 6.3.

Förutsättningarna för provtagning vid luftspolning (främst vid hammarborrning) skiljer sig på flera punkter från vätskespolningens. Visserligen bildas kaxet i hålbotten på likartat sätt, men transporten upp ur hålet är så snabb att ingen betydande fördröjning och sortering uppkommer. Detta gör också att proven representerar förhållandevis distinkta nivåer. Störande moment förekommer dock. Bl a förändras förutsättningarna markant om de jord- eller berglager som genomborras är vattenförande. Vid vissa borrhningsmetoder kan nere-i-håletutrustningen förhindra en fri kaxtransport och ge upphov till blandning av kax från olika nivåer. Ur dessa synpunkter bedömes topphammarborrning ge prover av bättre kvalitet än någon annan hammarborrhningsmetod.

Kaxets höga hastighet då det når markytan gör att provtagningen kan vara besvärlig. Vid borrhning i torrt berg är det därför lämpligt att använda sig av den luftcyklon som vanligen tillhör hammarborrutrustningarna. Ett fältförsök med sådan provtagning visade att det cyklonseparerade kaxet gav en skalenlig och distinkt återspeglning av lagerföljden.

Analyser av kax från hammarbörning visar att olika bergarter krossas till kornstorlekar som bör kunna sättas i samband med bergarternas mekaniska egenskaper. Även sprickzoner är påvisbara i kaxets kornfördelning, kapitel 6.4.

Främst i samband med hydrogeologiska undersökningar är provtagning med hjälp av rördrivning vanlig. Röret, som slås ned med fallhammare eller tryckluftshammare, har antingen öppen eller spetsförsedd rörända. I det senare fallet tränger materialet in genom perforeringar på rörets nedersta del. Provtagning med öppet rör bedömes ge prover med bättre representativitet än det spetsförsedda. Däremot har det inte samma nedträngningsförmåga i stenigt material.

Vid drivning under grundvattennivå innebär förekomst av flytbenägna jordarter en uppenbar felkälla. Dessa tränger normalt in i röret i betydligt större mängd än andra jordarter och blir därför överrepresenterade i proven, kapitel 6.5.

Genom att mäta borrsjunkningen breddas det dokumentära värdet av en börning. Mätningen görs enklast manuellt med tidtagning per sjunkningsintervall, men upplösningen och därmed informationen om jord- och berglagren blir bättre genom kontinuerlig instrumentell mätning.

Hittills gjorda undersökningar visar att borrsjunkningsparametern vanligen ger ett betydligt säkrare underlag för att fastlägga lagergränser än vad som är fallet då endast prover tas. Man kan också finna exempelvis kornstorleks- eller konsolideringsbetingade variationer inom ett och samma lager. Med kontinuerlig borrsjunkningsregistrering kan oftast också enskilda större sprickor eller sprickzoner indikeras.

Det har också påvisats ett samband mellan borrsjunkning och bergmekaniska parametrar både vid slående och nötande börning. Den bästa korrelationen hittar man mellan tryckhållfasthet och borrsjunkning, kapitel 7.1.

Ytterligare ett sätt att förhöja det dokumentära värdet av en borrhning är att mäta spolförluster. Sådana uppkommer vid nyttjande av spolborrningsmetoder då man under borrhningens gång påträffar vattengenomsläppliga lager eller strukturer. Hela eller delar av den tillförda spolvätskan tränger då ut i den permeabla zonen. Teoretiskt bör spolförlustens storlek stå i direkt samband med det vattengenomsläppliga lagrets permeabilitet, vilket i sin tur hör samman med egenskaper som kornfördelning, porositet etc. Uppmätta variationer av spolförlustens storlek blir på grundval härav ett värdefullt komplement till att fastställa lagergränser och upprätta lagerföljder. Detta verifieras också av de försök som gjorts.

Vid kontinuerlig spolförlustmätning där också förloppet registreras finns det möjligheter att använda mätningarna analytiskt. Endast ett sådant försök har gjorts. Detta visar att spolförlusten upphör i takt med att färskas permeabla hålytor sätts igen av spolvätskans finpartiklar. Spolförlustkurvan från samma studie har också använts för att definiera ett permeabilitetsindex där, förutom igensättningen, hänsyn också tagits till det hydrostatiska trycket i borrhålet. Den på dessa grunder framräknade permeabiliteten har sedan jämförts med data från en provpumpning varvid en förvånansvärt god överensstämmelse erhöles, kapitel 7.2.

1. BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNINGAR OCH SYFTE

1.1 Borrningen - en viktig men försummad diciplin inom geoområdet

Borrning har alltid varit ett av geologens främsta hjälpmedel att dokumentera formationerna under markytan, oavsett om dokumentationen gjorts i vetenskapligt eller tillämpat syfte.

Endast genom borrning med provtagning kan man med i dag känd teknik erhålla detaljerad kunskap över jordens inre uppbyggnad och egenskaper, då inte naturliga lagerblottningar står till buds.

Varje borrhål som görs genom jord och berg tillför, om borrhålet dokumenteras och protokollförs, en ny pusselbit till den vetenskap som behandlar jordens biologiska och fysiska utveckling - geologin. För varje dokumenterad borrning växer också den kunskapsbank som finns tillgänglig då geologin skall tillämpas, och det gör den inom flera sektorer i dagens samhälle. I flera fall bildas egna ämnesområden exempelvis geoteknik, bergmekanik, bergteknik och hydrogeologi för att nämna de till geologin mest närstående. Gemensamt för dessa dicipliner är att de behandlar de geologiska formationernas mekaniska, fysikaliska, kemiska och hydrauliska egenskaper för vanligtvis ett tekniskt ändamål. Det kan röra sig om grundundersökning för husbyggnad och andra byggnationer eller anläggning av tunnlar och bergrum. Hit hör också verksamheter inom gruv-, sten- och grusindustrin. En annan betydelsefull tillämpning finns inom vattentekniken och då främst i samband med utvinning av grundvatten. Prospektering och exploatering av fossila bränslen är en annan stor verksamhetsgren. Det är inom dessa sektorer som den tunga jord- och bergborrningstekniken vuxit fram som ett nödvändigt instrument för undersökning och exploatering.

Trots att resultat från borrningar ofta bildar underlag för värderingar och beräkningar av olika slag hittar man sällan några anvisningar över hur olika borrarings- och provtagningsmetoder bör användas, varken i den vetenskapligt eller den

tekniskt inriktade geologiska litteraturen. Detta förhållande beror i hög grad på att borrhings- och provtagningsmetoderna inte blivit standardiserade. Sanningen är att det borrhings-tekniska ämnesområdet blivit åsidosatt, hamnat i ett vakuum någonstans mellan naturvetenskap och teknik. Att så är fallet framgår också av att borrning, sedd som fältundersökningsmetod, jämfört med andra metoder som exempelvis geofysisk mätningsteknik, spelar en helt underordnad roll i den högre geoinriktade utbildningen, såväl i kursplaner som i läroböcker. På sin höjd omnämns en eller ett par borrhingsmetoder vid namn, men sällan diskuteras exempelvis olika borrhingsmetoders funktion och deras lämplighet för borrning i olika geologiska miljöer, eller hur prover skall tas, vad dessa representerar i kvalitet etc, frågor som är av helt avgörande betydelse så snart man bygger en slutsats på grundval av borrhingsresultat.

Avsaknad på utbildning och handboksinriktad litteratur rörande tunga borrhingsmetoderna, deras funktion och användbarhet leder fram till några för denna avhandling viktiga frågeställningar, nämligen

- vilka metoder finns tillgängliga, vilken borrhingsfunktion representerar metoderna, hur skall metoderna grupperas och klassificeras och vilka lämplighetsområden och begränsningar besitter metoderna med avseende på geologisk miljö?

1.2 Borrningen som vetenskap

Jag kan mycket väl föreställa mig att en borrhare betraktar sitt yrke som hantverk eller kanske rentav som ett konststycke, men sannolikt inte som vetenskap. Flertalet borrhningar kan också, enligt min mening, klassificeras som just ett yrkesskickligt hantverk. Det ligger då också i sakens natur att borrharen styr borrhmaskinen efter sin egen känsla för hur en borrning vid varje ögonblick skall fortskrida. Det ligger i hans intresse att borrhningen blir utförd med minsta möjliga tekniska problem och inom en bestämd ekonomisk ram. Vetenskapliga moment tillkommer endast i den stund borrhingsresul-

taten används för vetenskapliga ändamål - något som oftast ligger utanför borrarrens intresse.

Vilka mål och ambitioner har då den som konstruerar och tillverkar borrarutrustningar? I enlighet med marknadskrafterna styrs han i huvudsak av de krav på effektivitet och ekonomi som de olika avnämjarbranscherna ställer. För konstruktören är borrarningen främst en maskinteknisk vetenskap. Frågan han ställer sig är hur den borrarutrustning skall se ut och fungera som med största tänkbara verkningsgrad och hastighet kan penetrera berget eller jordlagren. Bland mycket annat måste han använda berg- och jordlagrens egenskaper som utgångspunkt, dvs vilken grad av inträngningsmotstånd olika berg- och jordarter besitter. Han tar därför hänsyn till egenskaper som exempelvis hårdhet, sprödhet, abrasivitet, mineral- och kornfördelning etc, egenskaper som är applicerbara på större grupper av jord- och bergarter. Han sätter sedan detta i relation till rent funktionella och maskinella funktioner. Genom laboratorie- och fältförsök provas sedan de bästa metoderna och komponenterna fram. Den färdiga produkten blir således en optimerad högeffektiv maskinteknisk systemlösning, anpassad till bestämda geologiska förhållanden. Dessa utrustningar är i första hand avsedda för produktionsbörning, exempelvis språnghålsbörning, börning av injiceringshål, pilothål för schakter, hål för brunnar, etc. I den stund samma utrustningar och samma metoder användes för att undersöka och dokumentera då inverkar det snabba och effektiva börningsförloppet oftast menligt på möjligheterna till provtagning och annan registrering - i vart fall med idag använd registreringsteknik. Mot detta resonemang kan naturligtvis anföras att vill man dokumentera geologi genom börning så finns ju metoder även för detta, nämligen genom tagning av ostörda prover, s k kärnprovtagning. Det är också riktigt att kärnprovtagning i berg gjorts effektivare och därmed förhållandevis billigare än tidigare. Trots detta finns ett betydande ekonomiskt gap mellan kärn- och fullhålsbörning, en extrakostnad som i stort sett endast malm- och gruvindustrin är beredda att betala för. Kärnprovtagning i jordlager finns endast som etablerad provtagningsmetod inom geotekniken, där man i samband med grund-

undersökningar tar kärnor i främst sedimentära leror. Trots att detta sker med relativt enkel och lätt utrustning och till ringa djup är metoden kostnadskrävande. Det finns även kärnprovtagare för friktionsjordar, men dessa används mycket sällan av såväl tekniska som ekonomiska skäl.

Dilemmat är, som jag ser det, att de snabba och effektiva håltagningsmetoderna på ekonomiska grunder konkurrerar ut kärnprovtagningsmetoderna även vid undersökningsbörning. För att i undersökningssyfte motivera kärnprovtagningar fordras antingen en fast rotad tradition eller också ett ovedersägligt behov. Jag skulle kunna tänka mig att diamantkärnbörningen inom malmprospekteringen utgör exempel på båda dessa företeelser.

Det finns enligt min mening anledning tro att kärnprovtagningsmetoderna successivt kommer att minska i omfattning, främst av kostnadsskäl. Samtidigt ställs det krav att ändå få fram ett geologiskt/tekniskt underlag av sådan kvalitet att ofta långtgående beslut skall kunna fattas. Detta förhållande leder fram till en för denna avhandling viktig frågeställning, nämligen

- med vilka metoder kan man under börningens gång dokumentera ett borrhål som inte kärnböras och med vilken tillförlitlighet kan dessa metoder användas?

Frågeställningen ger upphov till ett relativt avgränsat ämnesområde som fått beteckningen "Registrering Under Börnings gång (RUB). Den engelskspråkiga termen "Driller's log" eller "Drill-log" (ungefär "börrarens protokoll" eller "börproto-koll") är den som ligger närmast. Ett annat närliggande engelskspråkigt begrepp "Measuring While Drilling (M.W.D.)" förekommer inom oljebörningen och avser den utveckling som nyligen påbörjats att med avancerad geofysisk mätutrustning utföra loggningar samtidigt som börningen fortskrider. Detta innebär en helt ny inriktning av borrhålsloggningen (eng "well logging") som annars utföres efter börning.

Förutsättningar och metodik för att optimalt utnyttja varje borrhningstillfälle genom att under borrhningens gång på ett vetenskapligt sätt dokumentera de jord- och berglager som penetreras bildar huvudmotiv för denna avhandling. Borrhålsloggning är ett avgränsat geofysiskt mättekniskt område och behandlas inte vidare i denna studie.

En omfattande litteratursökning har visat att ovan anförda problemställningar uppmärksammas till en mycket ringa grad såväl nationellt som internationellt. Avsaknad av referenser har medfört att stora delar av avhandlingen blivit av beskrivande karaktär på en nivå som kan betecknas vara grundläggande. Det har också inneburit att redovisat primärmaterial i stort sett presenterats utan jämförelser med andra undersökningar.

2. DEN TUNGA BORRNINGENS TIDIGA HISTORIA OCH UTVECKLING I MODERN TID

2.1 Antika borrhningsmetoder

2.1.2 Den kinesiska linstöten

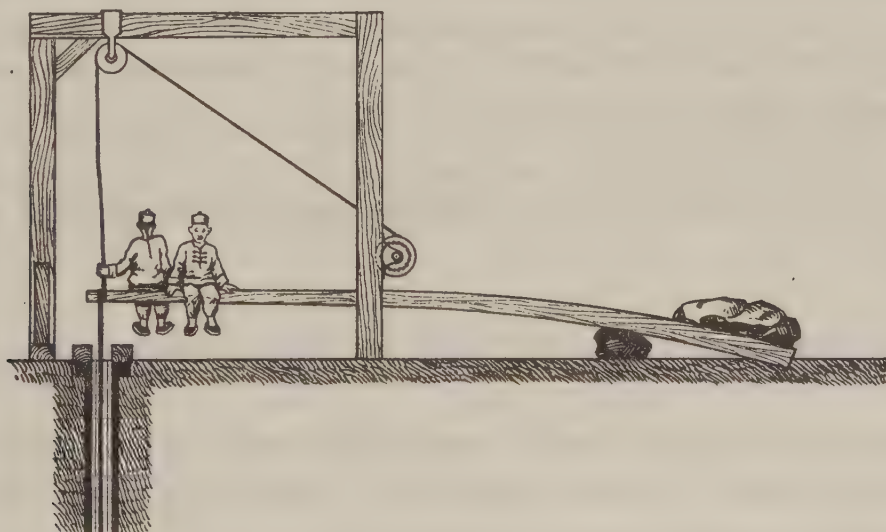
Det anses allmänt att upprinnelsen till djupborrningstekniken står att finna i Kina. Enligt flera författare (bl a Hagen 1853, Bowman 1911, Brantly 1961 a och Needham 1979) behärskade kineserna tekniken att borra djupa brunnar redan för mer än 2000 år sedan. Platsen för denna utveckling var det s k "Röda bäckenet", en sedimentbassäng belägen i Szechuanprovinsen i Centrala Kina.

Röda bäckenets sedimentära berglager innehåller både salt, gas och olja. Redan tidigt måste antikens kineser upptäckt dessa förekomster. Områdets isolerade läge och det långa avståndet till kusten bör vara de främsta orsakerna till att man började exploatera i första hand saltvattnet, vilket med säkerhet går tillbaka till tidig Han-dynasti (andra århundradet f Kr). Både skriftliga källor och arkeologiska fynd stöder denna datering (Needham 1979). Även gasen måste tidigt ha intresserat kineserna, bl a för indunstning av saltvattnet.

Man kan annars i litteraturen finna en viss tendens att överdriva den antika kinesiska borrhningstekniken. Ofta framställs den som mera fantastisk än vad den egentligen synes ha varit. Detta tar sig bl a uttryck i ogrundade uppgifter om såväl håldjup som tidsangivelser. Exempel på detta finner man bl a hos Peterson (1931) och Brantly (1961 a). Peterson uppger att man för ca 2000 år sedan gjorde vattenbrunnar i dimensionen 12-15 cm och som var uppemot 1200 meter djupa. Troligen härstammar dessa uppgifter från Bowman (1911), som dock inte avsett borrhning för 2000 år sedan, utan oljeborrhningar nära gränsen till Tibet utförda vid sekelskiftet ("at present day"). Samma missförstånd har smugit sig in hos Davis-De Wiest (1966) som refererar till Bowman (1911) och Tolman (1937). Tolman uppger håldjup runt 1500 meter, men anger ingen källa.

Brantly (1961 a) refererar till Konfucius - filosof och religionsstiftare verksam under senare hälften av Chou-dynastin (551-479 f Kr) - då han skriver att kineserna för ca 2600 år sedan borrade brunnar som var ett par hundra meter djupa. Brantly anger inte källan närmare, men måste med Confucius ha avsett en skrift vid namn Zhōu-lǐ ("Chou-dynastins riter") vari finns ett kapitel Kao gōng jī ("Undersökningars teknik"). I denna står beskrivet att det vid håltagning eller borrhning är fördelaktigt att börja i en stor dimension för att göra hålet allt smalare mot djupet, eftersom "leran eller gyttjan kletar" (fritt översatt från gammalkinesiska av J-O Svantesson 1980). Vad som beskrivs är troligen en form av teleskopborrning (se avsnitt 4.2). Några verktyg, dimensioner eller håldjup omnämnes dock inte. Det är vidare osäkert om Zhōu lǐ skrivits av Confucius, som av tradition står som författare till denna källskrift. Numera dateras den snarare till Handynastin (muntl medd J-O Svantesson 1980).

Oavsett när det hela tog sin början växte en hel saltindustri fram i provinsen. Under senare hälften av 1800-talet fanns ca 10 000 saltvattenproducerande brunnar. Normalt påträffas saltvattnet i triassiska sediment på 300-600 meters djup (Coldre 1891). Detta kan möjligen också indikera de troliga antika håldjupen.



Figur 1.1. Kinesisk linstötborrhning
(Nachmanson, Sundberg 1936)

Själva borrningen gick i sin enklaste form ut på att lyfta och släppa en serie sammanskarvade bambustänger. I nederänden satt någon form av verktyg som genom de upprepade slagen bearbetade berget, alltså en form av slående borrning. Så småningom ersattes bambustängerna av en lina, gjord av bambufiber och i vars ände det satt en järnmejsel. Som figur 1.1 visar fick man denna att bearbeta hålbotten genom en slaganordning som bestod av en fjädrande bom. Männen på bommen fick denna att gunga i bestämd takt, under normala förhållanden 50 svängningar/minut och med en amplitud av ca 1 meter. Detta är principen för den s k linstötborrningen, använd också idag både i Kina och andra delar av världen. Männen på bommen har dock ersatts av maskinella drivkrafter.

2.1.2 Det "grävda" kanatsystemet

Utvinning av salt grundvatten blev som framgått det motiv som drev kineserna att utveckla linstötborrningen. I andra delar av världen, och då främst arida områden, var det färskt grundvatten som utgjorde motiv för människan att anlägga brunnar. Ett mycket tidigt exempel på detta hittar man i Den Heliga Skrift (1:a Mosebok 26:15-19).

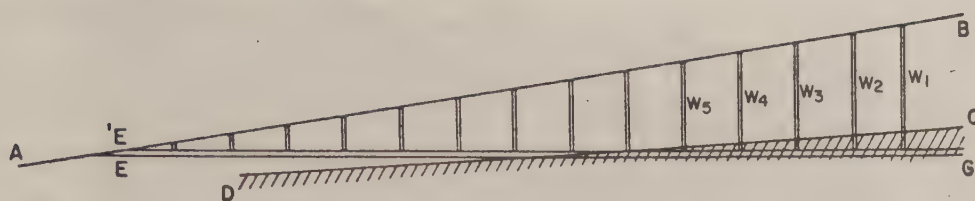
"15: Och alla de brunnar som hans (Isaks) faders tjänare hade grävt i hans fader Abrahams tid, dem hade filistéerna kastat igen och fyllt med grus"

"18: Och Isak lät gräva ut de vattenbrunnar som hade blivit grävda i hans faders tid"

Kap 21:31 tyder på att brunnsanläggningen bestod av sju brunnar:

"31: Därav kallades det stället Beer-Seba, eftersom .,..."

Beer-Seba kan antingen översättas som "edsbrunnen" eller "sjubrunnen". Pluralformerna i verserna 15 och 18 styrker det senare översättningsalternativet.

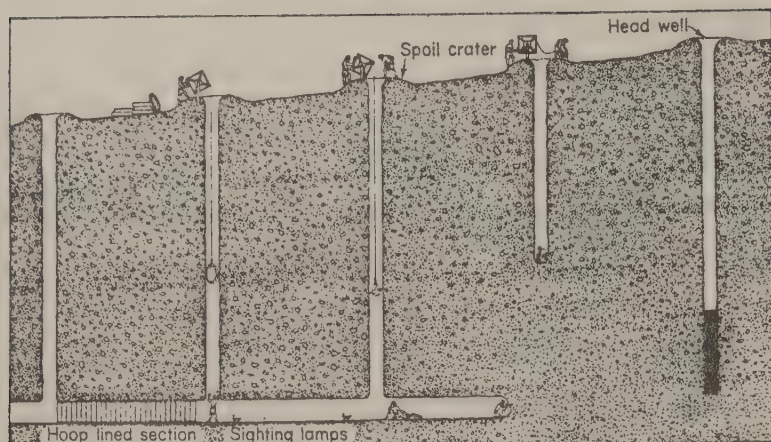


Figur 1.2

Principiell utformning av ett kanat-system. Linjen A-B visar den lutande markytan och C-D grundvattennivån. E-G är tunneln eller "kanaten". W_1 , W_2 är brunnar, vilka behövs dels när tunneln byggs, dels när den skall rensas och dels för ventilation (Brantly 1961 a)

Det är möjligt att detta är det första i källskrifterna omnämnda brunnssystemet som senare fått benämningen "kanat" (eng vanligen Q'anat). Dessa anlades i dalsidornas rasbranter och alluviala avlagringar där ett antal brunnar sammanlänkades med en självfallande förbindelsetunnel, se figur 1.2. Gamla sådana system, vilka användes både för dricksvattenförsörjning och för bevattning, är kända från flera länder i eller runt de bibliska länderna och i några länder används kanatsystem också i våra tidevarv, bl a i Iran och Afghanistan (Tolman 1937).

Mest kända av de äldre är en egyptisk bevattningsanläggning som daterar sig till ca 500 f Kr och en persisk från ungefär samma tidsepok (Brantly 1961 a, Huisman 1972).



Figur 1.3 Anläggning av kanatsystem i Iran (Huisman 1972)

Trots att den övre brunnen i kanaten kunde vara upp till 300 meter djup (Brantley 1961 a) anses det inte att de borrades, utan tillkom ungefär på det sätt som figur 1.3 visar. Denna typ av schaktning förutsätter dock så konsoliderade sediment att brunnarna inte rasar. Man kan tänka sig att människan i schaktgropen (figur 3.1) kan ersättas av ett borrarverktyg hängande på linan från spelet över borrhålet. Frågan är om detta inte rent av var en nödvändighet vid schaktning (börning) under grundvattennivån. Kanske kom någon variant av den kinesiska linstötmetoden till användning också i det antika mellersta östern, en teknik som i så fall försvunnit.

2.1.3 Femtusenårig "diamantbörning"

De forntida kinesernas förmåga att göra djupa borrade brunnar i sedimentärt berg är häpnadsväckande. Detsamma kan sägas om Abraham och hans efterkommandes teknik att konstruera djupa schaktbrunnar i jordlager. Men det är närmast ett mysterium hur egyptierna ännu längre tillbaks i tiden lyckades utföra regelrätta kärnbörningar i så hårda bergarter som granit och diabas. Spåren efter denna teknik uppmärksammades först av arkeologen William Petrie vid utgrävningar i södra Gizeh-området under 1880-talet. Tillsammans med andra spår av avancerad berghantering gjordes fynd av både borkärnor och de borrhål varur kärnorna härstammar. Fyndplatserna fanns dels i anslutning till pyramiderna och templen och dels i de sten-

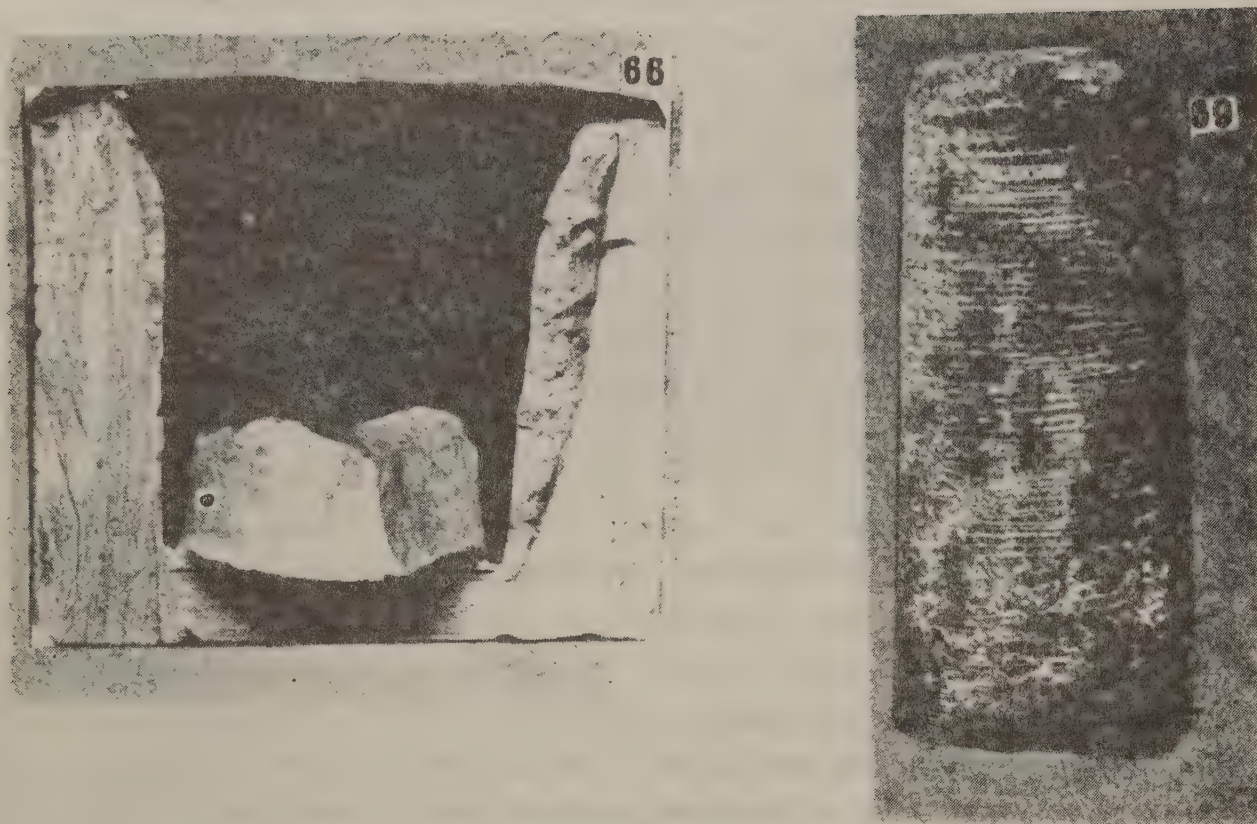
brott varifrån byggstenarna till de gigantiska byggnadsmonumenten togs. Dateringen torde därmed kunna fastställas till dessa byggnaders uppförande.

I en publikation som beskriver verktyg och vapen i antiken finns kärnor och borrhål avbildade (Petrie 1917). Figur 1.4 visar en kärna i granit och en avgjutning av ett hål borrarat i hornblände med en uppstickande kärnbit kvar. Det intressanta med dessa "fossila" borrhåslämningar är att de uppenbarligen utförts med samma effektivitet som vi idag kan åstadkomma med moderna kärnbormaskiner. Detta om man räknar borrsjunkning per rotationsvarv, för det var en roterande skärande bormetod som användes. Härom vittnar de räffelspår som tydligt framträder på kärna och borrhålsvägg, se figuren.

En detaljerad studie av spåren (Petrie 1917) på exempelvis granitkärnan visar att de löper runt kontinuerligt som gångorna på en skruv. Stigningen anges till ca 2,5 mm/ varv. Till samma resultat har även efterkommande forskare kommit (bl a Clarke, Englebach 1930).

Petrie (1917) nämner också att räfflorna fortsätter med kontinuerligt jämn botten tvärs över kvarts- och fältspatkristallerna. Han tolkar detta som resultat av att en fast fixerad spets använts bestående av ett material "betydligt hårdare" än kvarts. Samtidigt måste också spetsen varit utsatt för hårt tryck. Han kommer fram till att sannolikt bara diamant besitter de egenskaper som en sådan skärande spets bör ha.

Kjellson (1961) behandlar i sin bok "Försvunnen teknik" dessa och många andra tekniskt avancerade fenomen. Han visar att denna "rörborrningsmetod" sannolikt utnyttjats frekvent vid bl a utplaning och urholkningsarbeten i sten. Han anger erforderligt tryck för att åstadkomma räfflorna till ett å två ton.



Figur 1.4 "Fossila" lämningar från antik egyptisk kärnborrning. Till vänster en avgjutning av ett borrhål på ett dörröverstycke från granittemplet i Gizeh. Till höger ett löst fynd av en utborrad kärna i granit (Petrie 1917). Man har påträffat kärnborrade hål i dimensioner från 0,007 upp till 28". Det djupaste hålet är knappa 7 meter och har dimensionen 4½" (Brantly 1961 b)

Så vitt man idag vet kände man inte till diamanten i dåtidens Egypten (tidig dynastisk kultur). Däremot vet man genom arkeologiska fynd att smärgel (magnetitblandad korund) brukades inom stenindustrin (Petrie 1917). Det hör också till bilden att räfflorna på kärnorna är ytterst finskurna, ca 0,15 mm, vilket förutsätter en mycket stark och tålig skärande spets. Det är osannolikt att smärgel eller korundspetsar kan klara de tryck och den skärpa som erfordrades.

I Norden inträdde den yngre stenåldern vid samma tid och som en jämförelse kan nämnas att man i Skåne (Kvarnbyområdet) använde hjorthornshackor för att göra schakter och hacka fram flinta ur den lösa senonkalken.

2.2 Den moderna borrarsteknikens framväxt

Det är uppenbart att människan tidigt kom underfund med den mekaniska borrarrens huvudprinciper, nämligen att håltagningen kunde ske med hjälp av energiöverföring i form av slag, stötar, tryck och rotation. Kanske hade man naturen själv som förebild när det gällde att utforma lämpliga verktyg och teknik för borrarren. Bland molluskerna finns det exempelvis arter som med sina spiralformade skal roterar sig ned genom hård sand- och kalksten, och bland insekterna finns en mångfald arter som med förfinade metoder borrar eller tränger sig igenom fast materia för att nu nämna några studieobjekt.

Håltagandet är en instinktiv livsnödvändighet för dessa livets former, ett led i utvecklingen att exempelvis skydda sig vid fara, leta efter föda, ge avkomman en skyddad miljö, etc. Människan har knappast någon nedärvd instinkt att i sådant syfte göra hål i marken. Däremot har vi skapat ett allt större behov av borrarren genom att utnyttja inte bara de resurser som finns tillgängliga på markytan, utan också i allt högre grad de resurser i form av mineraler, fossila bränslen och grundvatten, som finns tillgängliga under markytan. Dessa resurser bildade grundförutsättningen för den industriella utvecklingen och det är också här som borrarrens moderna historia börjar. Det var inte förrän nu man på allvar började fundera på hur det såg ut under markytan, hur jord- och berglagren var uppbyggda, vilka egenskaper de besatt, hur man skulle ta hänsyn till de geologiska förutsättningarna vid byggnationer, prospektering och exploatering.

Borraringshistoriskt innebar detta en utveckling mot specialiserad borraringsmetodik, anpassad till vissa ändamål. Malm- och gruvindustrin, den snabbt växande oljeprospekteringen, byggnads- och anläggningsindustrin, alla hade speciella behov av borrarren för undersökning och produktion.

Materialet till nedanstående kortfattade prolog över den moderna borrarningens framväxt inom olika branschområden är huvudsakligen hämtat från Hagen 1853, Norton 1897, Bowman 1911, Petersson 1931, Nachmanson/Sundberg 1936, Holdo 1961, Brantly 1961 a och 1961 b, Mc Gregor 1967, Ottosson 1973, Whyte 1976 samt Lundin 1977.

2.2.1 Inom gruvindustrin

Ända fram till början av 1600-talet bröts malm genom tillmakning (dvs man eldade på berget och kylde med vatten för att det skulle spricka). Så kom krutet och med det ett behov av att göra spränghål. Under lång tid gjordes hålen för hand med mejsel och slägga och inte förrän vid slutet av 1800-talet började handbollarningen ersättas av andra metoder och då främst tryckluftsdreven hammarbollarning.

Släggan byttes mot en kolv som man med tryckluftens hjälp fick att slå mot stängen. Ett antal varianter på samma tema har under 1900-talet konstruerats och prövats. Förutom tryckluft som drivkraft användes också ånga, elkraft och hydraulisk drivenergi. I dag är nästan all s k hammarbollarning hydrauliskt driven. Tryckluften finns dock i stor utsträckning kvar som kraftkälla till hydraulmotorerna som i övrigt drivs av förbränningsmotorer och i vissa fall elektricitet.

Mineralfyndigheter upptäcktes till en början ofta av ren slump. Numera pågår ett vetenskapligt och systematiskt sökande med olika metoder. Geologisk och geofysisk kartläggning ger ofta anvisningar om var fyndigheterna finns. För att få uppgifter om exakt belägenhet, kvantitet och kvalitet fordras bollarningar, vanligen kallade prospekteringsbollarningar.

Behovet av att få ostörda prover och exakta lagergränser låg som grund till att kärnprovtagning genom diamantbollarning utvecklades som den viktigaste undersökningstekniken under 1800-talets senare hälft. Till en början roterades de diamantsatta bollar-kronorna ned genom berget för hand eller med ångdrift. För att få tryck på bollar-kronan belastades bollar-stålen med vikter. Sedermera användes kuggstång och därefter skruv-

matning i samma syfte. De maskiner som används idag har hydrauliskt drivet rotationsmoment och matning, och de besitter en avsevärd kapacitet både vad gäller borraringshastighet och håldjup. Samtidigt har användningsområdet för diamantboringen breddats, exempelvis till bergstekniken och då framför allt i samband med undersökningar för bergrums-, tunnel- och dammanläggningar.

2.2.2 Inom oljeindustrin

Det första oljeborrhålet brukar tillskrivas en överste Drake i USA. Året var 1859. Rotationsborrtekniken hade ännu inte börjat användas. Istället utvecklade man den stötborrteknik som kineserna anses ha uppfunnit. För att driva stötbormaskinerna användes ångkraft. I takt med att oljeborrhålen blev allt djupare sökte man dock efter en metod där man kunde spola upp det genomborrade materialet samtidigt som borrarningen fortgick. Vid stötborrningen hämtades detta upp med täta intervall, vilket innebar mycket tidskrävande borrarning vid stora djup.

Det skulle dröja till sekelskiftet innan de första oljeborr-riggarna, med roterande tryckande borrarning och samtidig spolning, togs i bruk i USA. Patentet att borra med ihåliga roterande stänger genom vilka en borrarväska pumpades ned för att cirkulera upp det genomborrade materialet var annars engelskt och daterar sig till 1844. Det var emellertid som diamantboring inom den amerikanska gruvindustrin som den först tillämpades och det var härifrån metoden sedan spred sig till oljeindustrin. Här divergerar den roterande bormetodens utveckling. Till skillnad från diamantboringarna, som vanligen försiggick i hårt kristallint berg i små dimensioner, gjordes oljeborrhålen i sedimentärt berg i större dimensioner och till större djup. Oljeborrutrustningarna byggdes därför kraftigare och fordrade också större matningskrafter. Även om diamantborkronor användes till en början fann man ganska snart att andra typer av borkronor var att föredra i sedimentärt berg och i början på 1900-talet utvecklades den klassiska rullborkronan. Denna ser i princip lika dan ut nu som då. I dag utförs uppskattningsvis 90 % av alla djupboringar i sedimentär berggrund med den konventionella rotationsbormetoden.

2.2.3 Inom brunnsborrningsbranschen

Den allra första brunnsborrmetoden man känner till är kinesernas s k "jo-jo-metod" (se figur 1.1). Samma metod, endast obetydligt förändrad under årtusenden, används fortfarande idag på landsbygden i flera asiatiska länder.

I Europa börjar brunnsborrningens historia med de s k artesiska brunnarna, härlett från det latinska namnet "Artesium" på Artois, en medeltida provins i norra Frankrike. Här utfördes under 1100-talets första hälft en rad borrhningar ned i en akvifer som stod under så högt tryck att vattnet var självflödande ur brunnarna. Märkligt nog hade den kinesiska borrar-metoden ännu inte nått Europa. Istället användes bl a skopor, skruvar och liknande vilka satt på skarvbara träskäft. Det var inte heller några större brunnsdjup som erfordrades för att nå de artesiska akvifererna, varken i Artois eller på andra ställen där artesiskt grundvatten utnyttjades, oftast bara några tiotal meter.

I detta sammanhang kan nämnas att Artois ingalunda var först med artesiska brunnar. Spår av mycket gamla sådana har rapporterats från en rad äldre kulturländer, bl a Egypten, Kina, Persien och Grekland. Även i "modern tid" överträffas Artois-brunnarna, som daterar sig till en bit in på 1100-talet, av ett par brunnar som något tidigare anlades för att försörja en stad (Modena) i norra Italien med vatten. Dessa borrades av ett par gruvarbetare, som använde skruvborrverktyg inuti ett tubrör. Röret drevs ned efterhand som borrhningen fortskred. Brunnarna blev så till den grad uppskattade att brunnsborrarnas verktyg därefter stod förebild till stadens stadsvapen. "Modeniensarna" skulle med rätta kunna göra anspråk på att artesiska brunnar istället bort benämnas "mutiniska" (efter "Mutina", det latinska namnet på Modena).

Det skulle dröja in på 1700-talet innan den kinesiska lin-stötmetoden började användas på allvar i västvärlden. Denna blev sedan snabbt den dominerande brunnsborrningsmetoden både i den gamla och nya världen och är fortfarande vanligt förekommande.

Under 1900-talets inledning började även brunnsborrningsindustrin uppmärksamma rotationsborrningens möjligheter. I USA anammade man oljeborrningstekniken och vidareutvecklade denna att användas för mindre borrhjup. Resultatet blev en brunnsborrningsanpassad rotationsborrmaskin. Samma teknik användes som vid oljeborrning, men utrustningen gjordes mindre och mera flexibel samt självtransportabel. Dessa maskiner har under den sista 20-30-årsperioden blivit universella och världen över vinner metoden allt större marknad och då på bekostnad av linstötmetoden.

Under det sista decenniet har den från sten- och gruvindustrin hämtade hammarborrningsmetoden börjat slå igenom också som brunnsborrningsmetod, främst i länder med kristallin berggrund. Sverige är härvidlag ett föregångsland.

2.2.4 Inom geotekniken

Den borrhingsutveckling som hittills behandlats är den sk tunga borrhings. Som lätt borrhning brukar i allmänhet betecknas borrhning med verktyg som är konstruerade i syfte att provta eller sondera i jordlagrens övre delar, exempelvis för att göra vetenskapliga geologiska undersökningar eller för att bedöma jordlagrens lämplighet för grundläggning. En hel rad metoder står till buds. Inom det geotekniska ämnesområdet, dvs då man undersöker jordlagrens tekniska egenskaper, har dessa lätta provtagnings- och sonderingsborrningar delvis standardiserats, både nationellt och internationellt.

I många länder utgör tyngre icke-standardiserad borrhning för provtagningsändamål, inklusive geologisk kartläggning, en betydande del i den geotekniska fältundersökningsmetodiken. Det gäller då främst länder med sedimentär berggrund och ställvis mäktiga jordlager, såsom Tyskland, Holland och England.

Här utnyttjade man till en början samma borrhningsteknik som den för brunnsborrnings. Under de sista 30-40 åren har emellertid ett antal speciella provtagningsmetoder vuxit fram. Ofta rör det sig om kombinerade metoder med tagning av både störda

och ostörda prover, där både rotations- och stötborrnings-teknikerna ingår. En i dessa sammanhang vanlig metod är skaugerborrning i stor dimension.

Icke-standardiserad tyngre borrrning förekommer också i Sverige, men då ofta knutet till undersökningar där också berget eller jordlagrens förhållande till berget ingår. Exempel på tyngre geoteknisk borrrning är jord/bergsondering. Vid sådan borrrning tas normalt inte några prover, utan syftet är att mäta neddrivningsmotståndet.

2.2.5 Sammanfattande syntes

Jag har här försökt att med en kortfattad historisk beskrivning visa hur de i dag till buds stående tyngre borrningsmetoderna av konventionell typ successivt utvecklats vid sidan av varandra i olika branscher. Varje bransch har haft och har sina särskilda behov främst beroende på att borrningsverksamheterna förlagts till olika geologiska miljöer samt att motiven till borrrningarna är olika. Detta har styrt den borrnings-tekniska utvecklingen som därför närmast har blivit bransch-traditionell.

För att en viss borrningsmetod för låt oss säga borrrning i kristallint hårt berg har utvecklats och förfinats i en viss bransch är det inte sagt att samma metod inte skulle kunna användas för liknande borrrning i en annan bransch. Utvecklingen inom exempelvis brunnsborrrningssidan visar att den traditionsbundna borrrningstekniken håller på att brytas och att en breddning av olika metoder över branschgränserna är i antågande.

3 BORRNINGSMETODISK NOMENKLATUR OCH KLASSIFICERING

3.1 Bakgrund

Liksom den borrarstekniska utvecklingen styrts av specifika branschförutsättningar har också de termer och begrepp som används för att beskriva borraringsmetoder och utrustningar en viss branschbundenhet.

Ser man enbart till svenska förhållanden tycks sten- och gruvindustrins terminologi dominera. Det är också nästan bara inom denna näring man hittar svenskspråkig litteratur med borrarstekniska beskrivningar. Som kommer att framgå nedan saknas det emellertid system i terminologin, vilken dels skiftar i tid i takt med utveckling av nya tekniker och påverkan från utlandet, men dels också i form och innehåll från författare till författare.

Den särskilda näringsgren som brunnsborringsentreprenörerna utgör har fått en blandad terminologi, vars huvudingrediens kommer från sten- och gruvindustrin, men också starkt påverkats av termer och begrepp som hör hemma i den engelskspråkiga oljebranschen. Tendensen att uppta och försvenska termer från oljeborringen har förstärkts under senare år bl a till följd av införandet av rotationsborrtekniken.

Inom den geotekniska sektorn används sällan tung borrarning annat än i bergundersökningar för tunnlar, berggrum etc. Terminologin som då kommer till bruk överensstämmer i stort med sten- och gruvindustrins. Vad gäller tyngre borrarning i jordlager ses denna snarare som en provtagnings- eller sonderingsmetod än en borraringsmetod - detta om syftet är att undersöka jordlagren. I annat fall förekommer tung borrarning i jordlager mest för ren håltagning och/eller förborrning utan dokumentation. De borrarstekniska termer som då används hämtas både från sten- och gruvindustrin och från borraringsbranschen.

Den kontinentala geotekniken innefattar en betydligt större portion tung undersökningsborrning än den svenska och såväl den engelska som den tyska och franska terminologin domineras av den kontinentala brunns- och oljeborringens.

På det geovetenskapliga planet används borrhningsmetodiska termer i mycket begränsad omfattning. Detta gäller både inom forskning och undervisning. Det enda nämnvärda undantaget hittar man inom de bergmekaniska och bergtekniska ämnesdisciplinerna, där man både lär ut och forskar kring de bergborrningsmetoder som förekommer inom sten- och gruvindustrin. Naturligt nog används denna industris terminologi.

Konsultbranschen följer i stort sett industrins och entreprenörernas terminologi, men kan ibland införa någon ny metod eller något nytt begrepp, ofta i samband med en introduktion av ny produktions- eller prospekteringsteknik. Eftersom det då ofta rör sig om utländska metoder översätts eller försvenskas den utländska termen och kommer så småningom att inlemmas i den branschterminologi den närmast hör hemma.

Då man idag försöker sätta sig in i alla de borrhningstekniska termer och begrepp som förekommer inom de ovan angivna områdena finner man generellt en bristande överensstämmelse i termernas innehåll och betydelse. Detta gäller både inom en och samma bransch som mellan desamma. För att undvika missförstånd och misstolkningar bör en större enhetlighet i terminologisk mening eftersträvas, vilket är viktigt för både den industriella och den mer vetenskapligt inriktade borrhningsverksamheten.

I detta kapitel behandlas endast den del av terminologin som refererar till konventionella borrhningsmetoder, där borrhningen (håltagningen) sker genom mekaniskt inducerade spänningar så att brott eller uppluckring i berg- och jordmaterial uppstår. Genom att definiera ett antal metodkaraktäristiska parametrar inordnas metoderna i ett klassificeringssystem.

3.2 Svensk klassificering. Begreppsanalys

De begrepp som direkt eller indirekt används för att beteckna en specifik borrhningsmetod eller teknik att borra är av starkt varierande dignitet och vidd och ger i vart fall för en lekman ett helt förvirrat intryck. Man kan i den svenska litteraturen hitta minst 100 vedertagna ord som bildar attribut till borrhning och som refererar till en eller flera borrhningsmetoder.

Mycket vanligt är att attributet refererar till den bormaskin som användes eller till maskinens olika funktioner. De vanligaste av dessa beteckningar är

stöt-	spol-
linstöt-	skumspolnings-
slag-	aggregat-
rotations-	hand-
hammar-	rör-
rotationshammar-	skarvrörs-
topphammar-	helstångs-
sänkhammar-	skruvmatnings-
vibrations-	hydraulmatnings-
trycklufts-	och knämatningsbörning

Lika vanligt som att använda maskinella parametrar är att antyda bormetoden med hjälp av borrverktygets utformning eller annan s k neri-i-håletutrustning, exempelvis

diamant-	kolv-
tandhjuls-	wire-line-
spett-	dubbelrörs-
stålsands-	rörspets-
ringkrone-	skop-
kärn-	turbo-
tubrörs-	skärkrone-
rymnings-	jetstråle-
excenter-	kann-
auger-	och skruvbörning

Man behöver inte vara särskilt börningstekniskt initierad för att inse att de hittills uppräknade fyrtio "metoderna" inte representerar fyrtio olika tekniker att borra. Istället är det beteckningar som var och en med hjälp av "beskrivande" attribut åsyftar någon specifik delteknik eller specifikt delmoment som ingår i en viss metod.

Ett vanligt sätt att indirekt hänsyfta på en eller flera börningsmetoder är att relatera attributet till ett specifikt objekt eller behov, exempelvis

spränghåls-	dränerings-
skotthåls-	vägbanks-
pall-	stolphåls-
ventilations-	jordrörs-
stigorts-	stabiliserings-
schakt-	injekterings-
fullorts-	förankrings-
brunns-	för-
vatten-	och pilotborrning

Denna typ av ändamålsrelaterade beteckningar säger egentligen inget alls om vilken borrhningsmetod som används. Endast den verkligt erfarne kan förknippa ändamål med en eller flera metoder.

Ett ännu mer intetsägande sätt att antyda en borrhningsmetod är att använda borrhålets form och geometri såsom

vertikalhåls-	grovhåls-
horisontalhåls-	snedhåls-
fullhåls-	djuphåls-
långhåls-	smalhåls-
julgrans-	och deviationsborrning

eller att hänvisa till geografi och miljö som exempelvis

ovanjords-	havs-
underjords-	och undervattensborrning

Det är inte heller särskilt upplysande - fortfarande ur metodsynpunkt - då man påträffar begrepp som

prospekterings-	undersöknings-
produktions-	rekognoserings-
prov-	och sonderingsborrning,

även om dessa för den initierade till dels antyder vilka borrhningsmetoder som åsyftas. Samma sak gäller då man hän-

visar till det geologiska material borrhningen utföres i, exempelvis

jord-
berg-

malm- och
stenborrning

Ett vanligt sätt att konkret utpeka en speciell borrhnings-teknisk metod är att använda någon form av typbeteckning, exempelvis

Lindö-
Exter-
Tiltex-
MOSS-

SPT-
OD-
ODEX- och
JB-borrning,

Dessa bildar också exempel på hur det kan utvecklas en specifik borrhningsteknik för ett specifikt ändamål inom ett lika-ledes specifikt ämnesområde. Endast om metoden får ett breddat användande blir den känd i större kretsar.

Det enligt min mening bästa sättet att beskriva en borrhnings-metod är att utgå ifrån hur borrhverktuget arbetar mot det geologiska media metoden används i. Detta synsätt har använts inom sten- och gruvindustrin, bl a vid framställning av handböcker och liknande (exempelvis Janelid 1957, Fraenkel, Karlström 1961 och Finkel et al 1969).

Här hittar man begrepp som

skärande-
nötande-
malande-

uppbrytande-
krossande- och
skjuvande borrhning

vilka samtliga berättar hur (i detta fall) berget sönderdelas ("destrueras", "disintegreras") under borrhverktugets inverkan.

Ett sätt att ytterligare förtydliga en viss "sönderdelningsmetod" är att kombinera denna med en maskinell funktion som berättar om det mekaniska moment varpå nödvändig energi tillförs borrarverktyget, exempelvis (bl a Finkel et al 1969)

slående/krossande-	roterande/skärande och
roterande/krossande-	roterande/nötande borrar-
	ning

I metodklassificerande syfte, slutligen, kan också tyngre (flerordiga) beskrivningar användas. I följande exempel var motivet att kombinera borraringsmetod med provtagningssätt (Lager 1974).

Jordborrning

- foderrörsborrning med jord- eller slamprovtagning
- excenterborrning med jord- eller kaxprovtagning
- augerbörning med jordprovtagning
- rotationsborrning med rullborrkronor och kaxprovtagning

Bergbörning

- rotationsbörning med kaxprovtagning
- rotationsbörning med kärnprovtagning
- tryckluftsborring med kaxprovtagning,

Systemet är inte komplett och dessutom förvirrande genom att termer med olika innebörd och dignitet blandas. Ur klassifikationssynpunkt är indelningen i jord- respektive bergbörning som utgångspunkt helt hopplös, eftersom flertalet borraringsmetoder kan användas i både jord och berg.

Den svenska tunga borrarningen saknar enligt min mening ett övergripande klassifikationssystem. Janelid (1957) antyder problemet med ett sådant genom att ange att metoderna "kan indelas efter olika grundprinciper, såsom t ex krossande, skärande börning", men "med hänsyn till den praktiska användningen och borrarmaskinernas nuvarande (1957) utformning"

föredrar han en "ändamålsenlig indelning". Det är denna som idag, mer än 20 år senare, fortfarande gäller officiellt inom sten- och gruvindustrin.

Indelningen är som följer:

I SLAGBORRNING

1. Stötborrning
 - 1.1 Linstötborrning
 - 1.2 Pneumatisk (elektrisk etc) stötborrning
2. Hammarborrning
 - 2.1 Tryckluftsdriven hammar- och rotationshammarborrning
 - 2.2 Motordriven hammarborrning

II ROTATIONSBORRNING

1. Skärande borrning
2. Nötande borrning
3. Krossande borrning

Han har också med en tredje grupp, nämligen termisk borrning, vilken dock saknar intresse i detta sammanhang.

Vad som i övrigt gjorts i Sverige på klassificeringssidan är ett förslag till standard för jord- och bergsondering inom det geotekniska verksamhetsområdet, (SGFs sonderingskommitté 1974). Jord/bergsondering utförs normalt med hammarborrmaskiner, samma som används inom sten/gruvindustrin. Härtill har dock kommittén velat föra andra tyngre borraringsmetoder "såsom borrning inom foderrör eller spolning med specialvätskor", dvs här inkluderas också delar av brunnsborringsmetoderna.

Det ur klassifikationssynpunkt intressanta med sonderingskommitténs förslag till standard är att man med hjälp av maskinparametrar (maskiner och dess funktioner) klassificerat tre viktklasser (lätt, medeltung, tung borrning). Ingen hänsyn har tagits till exempelvis typ av borrhälskrona, processen i borrhålet vid sönderdelning m m. För första gången har emellertid begreppet tung borrning definierats.

Inom brunnsborrningsbranschen räknas av tradition all borrhning som "tung". Någon systematisering av brunnsborrningsmetoderna, liknande Janelids (1957) bergborrmetoder, har inte stått att finna i den svenska litteraturen.

3.3 Klassificering utomlands

3.3.1 Inom den geotekniska sektorn ("site investigations") Utan att ha sett det direkt påtalat i litteraturen föreställer jag mig att alla länder med en bred och stor borrhningsverksamhet lider av samma brist på enhetlig terminologi som vi gör i Sverige. Att så är fallet framgår indirekt av den litteratur som behandlar borrhningsmetoder.

Det enda land (engelskt eller tyskspråkigt) som systematiserat och standardiserat borrhnings- och provtagningsmetoderna är, inte helt oväntat, Västtyskland (DIN 4021, 1969). Denna gäller dock bara jord, men visar ett angreppssätt som är av principiellt värde vid all borrhningsmetodisk klassificering.

Som klassificeringsparameter av första dignitet har använts borrhmaskinens (- eller utrustningens) energiöverförande funktion varvid urskiljts

"drehend" (roterande, vridande)

"rammend" (slående)

"drückend" (tryckande)

"schlagend" (stötande, slående)

"greifend" (gripande, grävande)

Som digniteter av andra rang har använts dels "Spühlhilfe" (spolhjälp) med ja- eller nejsvar samt "Fördern des Bodens" (ungefär "jordupptagning") med svaren "mit Bohrwerkzeug" (med borrhverktyg) eller någon form av "Spülung" (spolning). Utifrån dessa parametrar definieras fyra olika borrhningsmetoder för kontinuerlig utvinning av kärnor (durchgehender Gewinnung gekernter Bodenproben"), nämligen

Rotations-Trockenkern-	rotations-tryckkärn-
Rotations-Kern-	rotations-kärn-
Rammkern- und	slagkärn- och
Druckkernbohrung	tryckkärnborrning

samt fyra metoder för kontinuerlig tagning av "icke utkärnade" jordprov ("durchgehender Gewinnung nicht gekernter Bodenproben"),

Handdreh-	manuell vrid-
Maschinendreh-	maskinell/vrid-
Schlag- und	stöt- och
Greiferbohrung	grip- alt grävborrning,

vidare fem metoder för utvinning av ofullständiga prover ("mit Gewinnung unvollständiger Bodenproben"),

Spühl- (Rotary)	spol- (rotations-)
Rotations-Spühl-	rotations- spol-
Schlag- und	stöt-
Meizelspühlbohrung	mejselspolborrning
Einspülung	nedspolning

och slutligen med lättare utrustning ("Kleingeräten") för utvinning av ringa provmängder eller för sondering ("Gewinnung geringer Probemengen, Sondierverfahren") följande fem metoder:

Handdrehbohrung	manuell vridborrning
Rammsondierung mit Kernentnahme	slagsondering med kärnprovtagning
Sondierbohrung mit Rillen- und Rohrbohrung	sonderingsborrning med räffel- och rörborr
Handbohrung	manuell borrrning
Drucksondierung mit Kernentnahme	trycksondering med kärnprovtagning

Detta tyska system lider enligt mitt förmenande av flera svagheter. Dels har det bara en enda indelningsgrund (energiöverföringsfunktionen) som används i hela sin vidd. De två övriga (jordgenomträngning och spolhjälp) är starkt förenklade. Bl a detta medför att etablerade och vedertagna metoder inte kunnat inordnas i systemet. Istället har man - och detta med hänsyn till en för metodklassificeringen ovidkommande parameter, nämligen provkvalitén - måst införa nya begrepp, som bara kan leda till att inplantera ännu fler myror i de tyska geoteknikernas och geologernas hjärnor.

I den engelskspråkiga litteraturen ingår tyngre borrhning i vad som ofta benämnes "site investigation" (fältundersökningar). Borrhningsmetoden ("drilling method") är, liksom i Tyskland, ofta liktydig med en provtagningsmetod ("sampling method") och/eller med en metod att förborra till den internationellt sett ofta använda SPT-metoden (Standard Penetration Test). Själva testen (SPT) är standardiserad (ASTM D-1586) däremot inte förborrningsmetoden.

SPT-metoden innebär i korthet att det först göres ett öppet hål ned till önskad provtagningsnivå. Om möjligt tas störda prover under håltagningen. Därefter tas ett kärnprov av den "ostörda" hålbotten. Vid provtagningen mäts också provtagarens neddrivningsmotstånd. Vad avser håltagningsmetoden anger ASTM att all borrhningsutrustning kan användas som ger en rimligt ren ("reasonably clean") hålbotten före neddrivningen av provtagaren.

De tunga borrhningsmetoder som används för provtagning och SPT omtalas i korta ordalag av flera författare men oftast utan systematisering. Det mest omfattande system jag hittat (Serota 1972) utgår från definierade maskiner och utrustningar ("machines, drills, rigs") i första ordningen, varunder följer en blandning av maskinfunktion, maskinkomponenter och borrverktyg i andra ordning, enligt följande:

WASH BORING DRILLS	SPOLBORRNINGSAGGREGAT
basic machine	"ursprungsmaskinen"
diamond drill	kärnborr
rotary rig	rotationsrig
LIGHT PERCUSSIVE RIGS	LÄTTA SLAGBORRNINGSRIGGAR
hand-operated shell/ auger	Manuell skruv/auger
mechanical shell/auger	maskinell skruv/auger
AUGERING MACHINES	AUGERMASKINER
discontinuous auger	"intermittent" auger
kelly auger	"drivstångsauger"
continous flight auger	"kontinuerlig" auger
MULTI-PURPOSE MACHINES	UNIVERSALMASKINER
Percussive augering machine	slående augermaskin
percussive rotary drill	slående rotationsborr

Ändamålet med denna klassificering var att ställa maskintyperna i relation till främst kostnaderna då de används vid borrhning i olika geologiska avlagringar och fyller möjligen sitt syfte från denna utgångspunkt. Som ett anvisande av metoder för borrhning i dessa avlagringar är den emellertid enbart förvillande.

Ett annat exempel (Pauls 1975) räknar upp metoder med huvud- och underindelningar enligt följande:

AUGER BORING	AUGERBORRNING
hand-operated	manuell
cont. flight	"kontinuerlig uppmatning"
hollow stem	"hålstänger"

WASH BORING	SPOLBORRNING
jetting	jetspolning
wash and shop	"spol- och stöt"
wet rotary drilling	"rotationsborrning med spolning"

Denna indelning av metoder är inte heller särskilt tilltalande bl a eftersom författaren beskrivit ett antal redan etablerade brunnsborrningsmetoder med delvis ny terminologi. Dessutom är metodurvalet fattigt.

3.3.2 Inom brunnsborrningsbranschen (water well drilling)

Som tidigare antytts har den internationella brunnsborrningsbranschen en metodisk anknytning till oljebranschen, vilket gör att man i stort använder samma terminologi vad avser flertalet borrhingsmetoder. Läroböcker, manualer och annan litteratur som behandlar borrhings- och brunnsteknik upptar därför ofta båda dessa branschers metoder.

Man kan direkt fastslå att något större arbete i systematiserande syfte inte gjorts. De metodindelningar man påträffar i den hydrogeologiska litteraturen har nästan alltid framkommit som biprodukt av en dispositionsplan som behandlar ett större ämne. Författarnas tankegångar över hur metoderna skall indelas i förhållande till övrigt bokinnehåll framgår därför klarast i innehållsförteckningarna.

Liksom geoteknikern gärna framställer borrhingsmetoden som ett instrument för provtagning, tenderar hydrogeologen koppla samman borrhingsmetod och brunnsbyggnad. Indelningen av borrhingsmetoderna blir då starkt präglad av ändamålet med borrhningen. Ett exempel på detta är hämtat från ett förslag till amerikansk standard (NWWA, 1976), där det i manualen talas om "construction methods" (byggnadsmetoder) i överrubrik med borrhingsmetoder i underrubrik.

CONSTRUCTION METHODS

(här avses brunnsbyggnadsmetoder)

1. Driven
(neddrivning av rör/rörspets)
2. Augered-bored or dug
(skruv-kannborrad eller grävd)
3. Jetted or hydraulicing
(nedspolning av rör/rörspets)
4. Cable Tool
(linstötborrning)
5. Rotary
(rotationsborrning)
- 5.1 Conventional fluid
(här avses direktspolning)
- 5.2 Air Circulation, Hammer/Rotary
(här avses hammar- eller rotationsborrning med direkt luftspolning)
- 5.3 Reverse Hydraulic
(här avses omvänd spolning)
- 5.4 Combined Driving and Drilling
(här avses drivning av rör med efterföljande rotationsborrning)

Även den tyska motsvarigheten (DVGW-Merkblatt WX 115, 1977) klassificerar bormetoderna efter användbarhet för brunnsbyggnadsändamål. Den borrhingsmetodiska delen ("Bohrverfahren") är i motsats till NWWA av samma ordning som brunnsdelen ("Anwendung") och dessutom betydligt mer ingående indelad.

1.	DREHBOHREN	ROTATIONSBORRNING
1.1	Mit Spülung	Med spolning
1.1.1	Drückspülbohren	Direktspolborrning
1.1.2	Inverse Spühlstrohm- richtung	Omvänd spolborrning
1.1.2.1	Counterflush	"Motspolning"
1.1.2.2	Luftheben	Lufthävert
1.1.2.3	Strahlsaugen	Strålsug

1.1.2.4	Saugen	Sug
1.2	Ohne Spülung	Utan spolning
1.2.1	Trockendrehbohren	"Torr" rotationsborrning
2	SCHLAGBOHREN	STÖTBORRNING
2.1	Freifallbohren	"Frifalls"-borrning
2.1.1	Seilfreifall	"Frifall med lina"
2.1.2	Gestänge freifall	"Frifall med stänger"
2.1.2.1	Ohne Spülung	Utan spolning
2.1.2.2	Mit Spülung direkte oder inverse Strom- richtung	Med spolning, direkt eller omvänt
2.2	Hammerbohren	Hammarborrning
2.3	Rammenkernbohren	Slagkärnborrning
2.4	Slauchkernbohren	Slangkärnborrning
3	DREHSCHLAGBOHREN	ROTATIONSSLAGBORRNING
4	SONSTIGE VERFAHREN	ÖVRIGA METODER
4.1	Einspülen	Nedspolning
4.2	Einrammen	Neddrivning

Indelningen visar hur de traditionella metoderna systematiserats, i första hand efter sättet varpå energin tillförs borrarverkyget (slag-, rotation-) och i andra hand om så erfordrats sättet varpå det genomborrade materialet fås ur hålet (spolningsförfarandet). I vissa fall har spolningsförfarandet hamnat i tredje rang och föregås då av frågan om borrhör eller lina används.

Huruvida borrarning kan ske med eller utan rörinfodring (mot ras) kan också bilda indelningsgrund vilket framgår av följande klassificeringsförslag (Bieske 1973):

1.	Bohren mit Verrohrung	Borrning med rör- infodring
2.	Bohren ohne Verrohrung	Borrning utan rör- infodring
2.1	Rotarybohren	Rotationsborrning
2.2	Rotations/Kernbohren	Rotations/kärn- borrning
2.3	Saugbohren	Sugborrning
2.4	Sonstige Bohrverfahren	Övriga metoder

Ett exempel på en indelning av en omfattande mängd brunnsbörningsmetoder som klassificerats främst utifrån den typ av utrustning som tillhör metoden framgår av följande tablå (Brantly 1961 a):

1.	PERCUSSION	SLÄENDE/STÖTANDE
1.1	Cable Tools	Verktyg på lina
1.2	Solid-rod Tools	Verktyg på solid full- stång
1.3	Circulation	Spolning
1.3.1	Hollow-rod Tools	Ihåligt borrhör
1.3.2	Through Casing	Genom foderrör
2.	ROTARY	ROTTERANDE
2.1	Dry or wet	"Torr eller blöt"
2.2	Hydraulic, circulating	"Högtryckspolning"
2.2.1	Core drilling	Kärnbörning
2.2.2	Full-hole cutting	Fullhålsbörning
3.	COMBINATION	KOMBINATIONER
3.1	Rotary hydraulic	Roternade "högtryck- spolning"
3.2	Percussion wet or hydraulic	Slående spol- eller "hög- tryckspolning"
4.	ROTARY-PERCUSSION	ROTATION/SLÄENDE
4.1	Hydraulic circu- lating	"Högtryckspolning"

Ibland indelas metoderna med hänsyn till formationernas hårdhet, fasthet eller liknande. En viktig borrarnteknisk sådan gräns går mellan borrarnt i lösa (rasbenägna) och sammanhängande (fast stående) formationer (Cambefort 1964):

1. BOHRUNGEN IN LOSEN FORMATIONEN
(Borrarnt i lösa formationer)
 - 1.1 Hohlbohren
(*"Hämtande"* borrarnt. Hit hör spad-, skop- och sandpumpsbollarnt, utan närmare indelning)
 - 1.2 Spiralbohren
(Spiralbollarnt. Hit hör alla former av skruv- och augerbollarnt utan närmare indelning)
2. BOHRUNGEN IN ZUSAMMENHÄNGENDEM GESTEIN
(Bollarnt i sammanhängande formationer)
 - 2.1 Schlagbohren
(Slagbollarnt. Hit hör alla former av slående och stötande bollarntsförfarande utan närmare indelning)
 - 2.2 Drehendes Bohren
(Rotationsbollarnt. Hit hör alla former av roterande bollarnt)
 - 2.2.1 Das Rotary - Bohrverfahren
(Här avses rotationsbollarnt med direktspolning)
 - 2.2.2 Das Schrotbohren
(*"Stålsandsbollarnt"*)

Samma författare (Cambefort 1964) gör också en indelning av bollarnt i hårt kristallint berg (*"Gesteinbohrungen"*) på grundlag av bollarntkronans eller bollarntverkygets kvalitet.

1. Bohren mit Hartmetallstiften
(Bollarnt med hårdmetallstift)
2. Bohren mit Diamanten
(Bollarnt med diamanter)

för att senare, i samband med borrh metodernas beskrivning, göra följande mer allmänna indelning:

1. SCHLAGBOHRUNGEN
(stötborrning)
- 1.1 Das pennsylvanische Verfahren
(den pennsylvanska metoden)
- 1.2 Das kanadische Verfahren
(den kanadensiska metoden)
- 1.3 Schnellschlagbohrung
(*"snabbstötsborrning"*)
- 1.4 Schlagbohrung für geringe Bohrtiefen
(stötborrning för ringa borrh djup)
2. DREHBOHRUNGEN
(rotationsborrning. Utan vidare indelning i metoder men väl efter maskinella olikheter)

Cambefort (1964) får utgöra exempel på hur den borrh ningsmetodiska klassificeringen kan göras utifrån flera olika utgångspunkter. Förutom de här relaterade har han också indelningar bl a med hänsyn till kärnprovtagningsteknik och borrh ning av hål med mycket stora dimensioner.

De läroböcker som står till buds inom det geohydrologiska facket har ungefär likartad indelning av borrh ningsmetoderna. Som tidigare påpekats är det inte så mycket borrh ningsmetoden som sådan som varit av primärt intresse vid indelningen, utan mer metoder för anläggning av brunnar (*"methods of well construction"*). Den västeuropeiska synen på dessa metoders indelning kan exemplifieras enligt följande (Huisman 1972):

1. Dug wells
(grävda brunnar)
2. Bored wells
(brunnar, borrh ade med skruv-, spol- eller skopborrverktyg)

3. Driven wells
(neddrivning av rör/filtrerrör)
4. Jetted wells
(nedspolning av rör/filtrerrör)
5. Drilled wells
(borrade brunnar)
- 5.1 Cable-tool Percussion Drilling
(linstötborrning)
- 5.2 Percussion Drilling with Free Falling
Tools
(stötborrning med fritt fallande fullstång)
- 5.3 Hydraulic Percussion Drilling
(stötborrning med fullstång och kontinuerlig spolning)
- 5.4 Rotary Drilling with Bailer
(rotationsborrning med sandpump inuti borrarören)
- 5.5 Hydraulic Rotary Drilling with Straight
Circulation
(rotationsborrning med direktspolning)
- 5.6 Hydraulic Rotary Drilling with Reverse
Cirkulation
(rotationsborrning med omvänd spolning)

Denna indelning sammanfaller i stort med den amerikanska som tidigare exemplifieras med NWWAs klassificering.

UNESCO's guide för forskning och tillämpning inom hydrogeologin (Brown et al 1972), får bilda avslutning på detta axplock av internationella brunnsborrningsmetoder och deras systematisering med en ofullständig och helt ranglös metodindelning:

1. Rotary drilling
(all roterande borrrning)
2. Hydraulic rotary drilling
(rotationsborrrning med direktspolning)

3. Reverse rotary drilling
(rotationsbörning med omvänd spolning)
4. Air-lift method
(olika typer av rotationsbörning med omvänd spolning)
5. Percussion or cable tool method
(stöt- eller linstötmetoden)

Av de framförda exemplen kan man sammanfattningsvis konstatera att det råder stora avvikelser i hur man från författare till författare betraktar och indelar börningsmetoderna. Att man använder olika indelningsgrunder tjänar oftast ett ändamålsenligt syfte och är därför i vissa sammanhang nödvändigt. En större brist är enligt min mening skillnaderna i benämning för en och samma metod.

Denna har synbarligen uppstått till följd av att man i metodernas beskrivning tagit fasta på olika särdrag i en och samma metod, och använt ett av dessa eller flera i kombination då metoden namngetts. En bidragande orsak till den bristande enhetligheten av benämningar, också inom ett och samma land eller språkområde, torde vara att inget språkområde ensamt givit metoderna deras benämning och att olikheter i nomenklatur uppkommit vid metodernas spridning över språkgränserna.

3.3.3 Inom sten- och gruvindustrin (rock-drilling)

Börningsproblematiken har inom denna sektor rönt större uppmärksamhet än i någon annan bransch (oljebörningen undantagen). Jämfört med den geotekniska "provtagningsbörningen" och brunnsbörningens "methods of well constructions" är börningsmetoderna inom sten- och gruvindustrin främst "håltagningsmetoder" och deras optimering för olika ändamål är av vitalt intresse. Det är också inom denna bransch som det i särklass största antalet håltagningar äger rum samtidigt som de bergarter man arbetar i oftast har stort börningsmotstånd (vanligen kristallina bergarter). Här pågår också en bred internationell grundforskning, vilken syftar till att finna nya tekniker eller effektivisera de gamla. Särskilt stort

forskningsintresse har riktats mot att klarlägga energiöverföringsprocessen från bormaskin till borrhkrona och i nästa led från borrhkronan till berget. I det sistnämnda ledet spelar bergets borrhbarhet (nedträngningsmotstånd) en avgörande roll. Borrhbarheten i relation till bormetod, bergart och bergmekaniska parametrar bildar därför en egen forskningssektor med förhållandevis stor aktivitet, se kapitel 7.3.

De fortlöpande insatserna på forsknings- och utvecklingssidan är förmodligen en starkt bidragande orsak till att detta är den enda bransch där man hittar en modern och målinriktad klassificering av bormetoderna. Kanske har en sådan lättare kunnat åstadkommas, då bormetoderna i ett internationellt perspektiv är mer enhetliga inom denna näringsgren än någon annan (oljeborring undantaget).

Klassificeringen började i och med att forskningen runt borrverktygens bergavverkningsprocesser tog fart under början av 50-talet. Eftersom den tekniska utvecklingen sedan dess gått snabbt framåt finner jag ingen mening i att redovisa äldre indelningar av metoderna, utan endast det grundläggande och idag gällande övergripande system som framlagts av Mc Gregor 1967 och delvis av Maurer 1968. Det är oftast till någon av dessa författare, eller båda, man refererar i forskningsrapporter och liknande, också idag.

Enligt Mc Gregor indelas metoderna i:

1. PERCUSSIVE. Rock is fragmented by repetitive impaction.
(SLÅENDE. Berget fragmenteras genom upprepade anslag)

1.1 Pneumatic rock drills

(Pneumatiska bergborrar, varmed avses en utrustning som via en tryckluftsdreven hammare och via borrhölen tillför slagenenergi till borrhkronan. Denna roteras genom ett i borrhuvudet inbyggt rotationsmoment. Rotationen är enbart till för att omplacera borrhkronan efter varje slag)

1.2 Down-in-hole drills

(Neri-i-hålet-borrar, varmed avses tryckluftsdrivna slaghammare placerade strax ovanför borrhkronan. Pistongen slår direkt på kronan. Rotation fås från maskin på markytan oberoende av slaghammaren)

1.3 Independent-rotation drills

(Rotationsoberoende borrar, varmed avses rotations- och slagkombinerade utrustningar där slagmomentet bildar den huvudsakligt verksamma destruktionsprocessen)

1.4 Motor drills

(Motorborrar, varmed avses utrustning med förbrännings-, elektrisk- eller hydraulmotor, innesluten i slagverksanordningen. Vanligen mindre handhållna utrustningar)

1.5 Cable/churn drills

(Lin- eller fullstångsborrar, varmed avses borrverktyg sittande på lina eller hel borrhörssträng. Borrverktyget bearbetar berget genom upprepade lyft och fall. Metoden bygger på ett utnyttjande av gravitationskraften vid fallmomentet)

2. ATTRITIVE. Rock is ground away by abrasive action

(NÖTANDE. Berget avverkas genom abrasiv påverkan)

2.1 Diamond drills

(Diamantborrar, varmed avses en med hög hastighet roterande diamantsatt borrhkrona med viss belastning som maler, skär eller slipar sig ned genom berget)

2.2 Shot or Calyx drills

(Stålsandsborrar, varmed avses utrustning för utborrning av kärnor i större dimensioner där abrasionen fås genom att tillföra kulor, vanligen av stål, till hålbotten. Dessa fås att bearbeta berget genom en speciellt utformad ringborrkrona)

3. ROTATIVE-CUTTING. Rock is cut or planned away
(ROTERANDE/SKÄRANDE. Berget skärs eller "spånas av")
- 3.1 Auger drills
(Skruv/augerborrar, varmed avses skruvborrverktyg som i lösa formationer skär loss materialet, innefattande allt från handdrivna skruvborr till större maskindrivna augerborr)
4. ROTATIVE-SHEARING. Rock is fragmented by wedge action and shear
(ROTERANDE/SKJUVANDE. Berget fragmenteras genom "klyvning" och skjuvning)
- 4.1 Drag-bit drills
(Skärkroneborrar, varmed avses borrhävar med skärande egg vilka roteras under högt vridmoment och under fast tryck)
- 4.2 Rotary-percussive drills
(Roterande/Slående borrar varmed avses primärt roterande utrustningar som sekundärt tillförts ett slagmoment och som utvecklats för borrar i abrasiva bergarter)
5. ROTATIVE-CRUSHING. Rock is fragmented by wedge action from a steady thrust
(ROTERANDE/KROSSANDE. Berget fragmenteras genom "inträngning och klyvning" till följd av stort matningstryck)
- 5.1 Heavy rotary drills
(Tunga rotationsborrar, varmed avses tandförsedd rullborrhävar som roteras ned under högt tryck för att övervinna bergets tryckhållfasthet och därmed åstadkomma en krossning)

Mc Gregor har nöjt sig med att använda två nivåer i systematiseringen. Det bärande i hans klassificering är att han i första rang utgår från olika energiöverföringsfunktioner

(slående eller roterande). Genom att kombinera dessa, punkt 1 och 2 dock undantagna, med ett beskrivande ord för bergavverkningsprocessen (skärande, skjuvande osv) lyckas han skapa överrubriker under vilka han sen kan placera in de olika borrarverktøygen ("drills"). Han har härvid i hög grad undvikit att ange vedertagna metodiska benämningar utan istället inriktat sig på en mer objektiv beskrivning av principiella särdrag av metodernas nere-i-hålet-utrustning och dess verkningssätt. Endast i undantagsfall anges något särdrag om själva borrarmaskinen på markytan.

Maurers (1968) systematisering skiljer på konventionella och icke-konventionella metoder. Till de konventionella räknar han de metoder där berget avverkas genom mekaniskt inducerad spänning ("mechanically induced stresses"). Till de icke-konventionella hör avverkning genom termiskt inducerad spänning ("thermally induced stresses"), smältning och förångning ("fusion and vaporization") samt kemiska reaktioner ("chemical reactions"). De icke-konventionella metoderna ligger utanför avhandlingsämnet och behandlas därför inte vidare.

Maurer redovisar inget schema för de konventionella metoderna likt det Mc Gregor framställt. Följande tablå är en syntes av Maurer's systematisering som den framgår av texten, nämligen att avverkning vid mekaniskt inducerad spänning sker genom

1. Stöt, slag, inpressning ("impact")
2. Abrasion, nötning, slipning ("abrasion")
3. Jetstråleerosion ("erosion jets")
 - 3.1 Låg hastighet (10-200 m/s) ("low-speed")
 - 3.2 Hög hastighet (200-1000 m/s) ("high-speed")

Vad avser de borraringsmetoder ("conventional drills") som skulle inrymmas under någon av dessa övergripande rubriker grupperar Maurer enligt följande (från tabell som visar typiska borrarjunkningstal för angivna metoder):

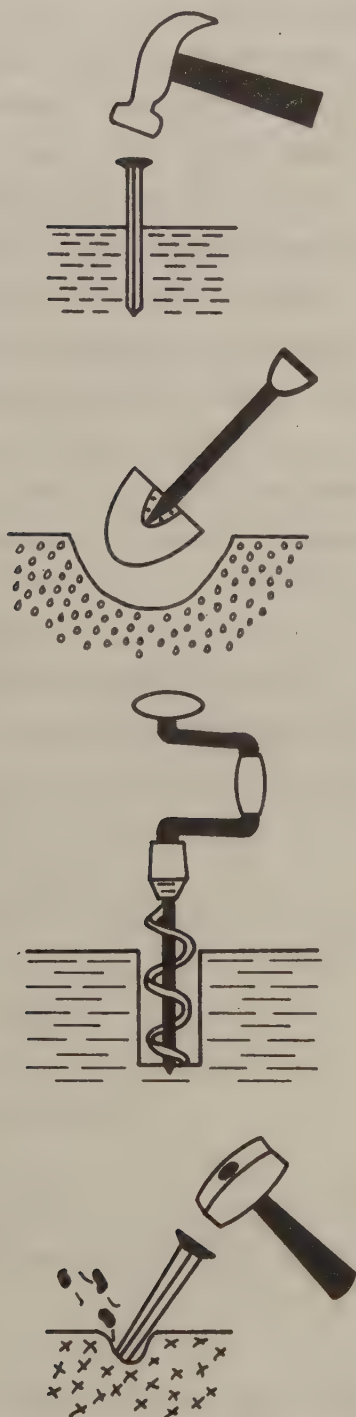
1. Percussive
(slående)
 - 1.1 Jackhammer
(*"kolvhammare"*. Här avses ett mindre slagmotoraggregat)
 - 1.2 Drifter
(*"hålstamp"*)
 - 1.3 Blasthole
(*"spränghål"*. Här avses topphammarbörning)
2. Rotary (mining)
(roterande. Här avses tillämpning inom gruvindustrin)
 - 2.1 Roller
(rullkrona. Här avses stiftrullkrona)
 - 2.2 Drag
(skärkrona)
 - 2.3 Diamond
(diamantkrona)
3. Rotary (oil field)
(rotation. Här avses konventionell oljebörning)
 - 3.1 Roller drag
(rullkrona. Här avses tandhjulskrona)
 - 3.2 Drag
(skärkrona)
 - 3.3 Diamond
(diamantkrona)
4. Jet-piercing
(jet-genomträngning. Här avses brännbörning)

Av intresse är att Maurer här särskiljt rotationsbörning inom gruvindustrin från den som förekommer vid oljebörning. I övrigt använder han samma grundläggande indelningsprinciper som Mc Gregor, nämligen att i första hand se till hur borrarverktögen bearbetar berget och med vilken energiöverföringsfunktion detta sker. I andra hand kommer utrustningsdetaljerna, här främst företrätt av olika borrar-kronetyper.

Det kan avslutningsvis konstateras att sten- och gruvindustrin i sin klassificering av borrhningsmetoderna har ett objektivare synsätt än övriga branscher, som gärna utgår från borrhningsutrustningarna och de speciella metoders benämningar, deras användningsområden etc i sin klassificering. Sten- och gruvindustrins och den tillämpade forskningens synsätt på borrhningsmetoderna har inte tagits upp inom bergmekaniken, vare sig det rör sig om forskning eller tillämpning. Det är frapporterande att exempelvis se hur International Society For Rock Mechanics i sina undersökningsrekommendationer (1975) endast orkar med att nämna (i stort utan beskrivning) två "general methods". Den ena är "Percussion borehole drilling", varmed avses stötborrhning med lina eller fullstång. Den andra är "Rotary bore-hole drilling", varmed avses diamantborrhning för kärna eller fullhål. Däremot beskriver man en rad olika motiv för att tillgripa borrhning (och provtagning) i undersöknings-syfte. Man ger också ingående instruktioner av hur borrhålen skall dokumenteras och resultatanalyseras, saker som visar vilken central roll borrhningen trots allt spelar vid bergundersökningar.

3.4 Klassificeringsgrunder

3.4.1 Angreppssätt



För att beskriva en viss borrar metod eller en viss teknik att borra användes som tidigare visats en rad olika begrepp. De flesta av dessa ger en verbal och bildlig beskrivning av det sätt varpå håltagningen sker. Några exempel på detta är stöt-, rotations-, slag-, hammar-, vibrations-, skär- och skruvborrning samt rördrivning.

Man "stöter", "roterar", "slår", "hamrar", "vibrerar", "skär", "skruvar", respektive "driver" sig ner genom jord- och berglagren.

Figur 3.1 Några vardagliga håltagningsmetoder

I princip är dessa sätt att göra hål analoga med mer vardagliga håltagningar, vilka illustreras i figur 3.1.

Andra begrepp berättar exempelvis om sättet varpå upptransporten av det genomborrade materialet, "borrkaxet" sker. Man talar exempelvis om spol-, sug- och tryckluftsborrning, man "spolar", "suger" respektive "blåser" upp borrkaxet.

Mindre sällan använder man termer som krossande, nötande och skärande borrar, vilka omtalar sättet varpå avverkningen i borrhålsbotten sker.

Som tidigare framgått används termer och beskrivande ord som är av olika dignitet och substans då en metod skall namnges. Detta innebär att "metoderna" med alla de beteckningar de fått omöjligen går att inordna i ett systematiskt uppbyggt schema. Därför kan dessa "metoder" inte heller jämföras på ett absolut objektivt sätt.

Vad finns det då för grundläggande objektivt beskrivande parametrar av samma dignitet som är gemensamma för all konventionell borrar och håltagning och som därför kan bilda grundstommen i ett klassificeringssystem?

Jag har funnit tre sådana som alla måste ingå i ett komplett system.

- Redan omnämnt och tidigare använt i system (bl a Mc Gregor 1967) är sättet varpå borrarverktöget bryter sönder fasta formationer och luckrar upp lösa formationer, här kallat destruktionsprocessen.
- En förutsättning för att sönderdelning och uppluckring skall äga rum är att borrarverktöget tillförs nödvändig kraft. Den process varigenom detta sker, kraftöverföringen, utgör den andra indelningsgrunden.
- Det lösgjorda material som bildas vid all form av borrarning måste för att håltagningen skall kunna fortskrida föras till markytan. Sättet varpå detta sker, håltreningen, bildar den sista indelningsparametern.

Nedan behandlas dessa indelningsgrunder mer ingående var för sig innan det färdiga systemet presenteras.

3.4.2 Destruktionsprocessen

Sättet varpå berg sönderdelas och jord luckras upp vid mekanisk påverkan varierar dels beroende på berg/jordmekaniska parametrar såsom hårdhet, textur, struktur etc och dels efter borrarverktygets utformning och verknings sätt. Vid en renodling av destruktionsprocessen kan man praktiskt sett bortse från berg- och jordmaterialet och enbart utgå från borrarverktyget. Anledningen till detta är att borrarverktygen utvecklats att ha optimal verkningsgrad i bestämda grupper av jord- och bergmaterial, framför allt med hänsyn till nedträngningsmotstånd. Det finns således ett anpassat borrarverktyg till snart sagt alla typer av jord-och bergmaterial.

Följande symbolförsedda processbeskrivande ord täcker alla de konventionella borraringsmetoder som beskrivits i litteraturen:

<u>PROCESS</u>	<u>SYMBOL</u>
UNDANTRÄNGANDE	
UTSTANSANDE	
GRÄVANDE	
ERODERANDE	
SKÄRANDE	
KROSSANDE	
NÖTANDE	

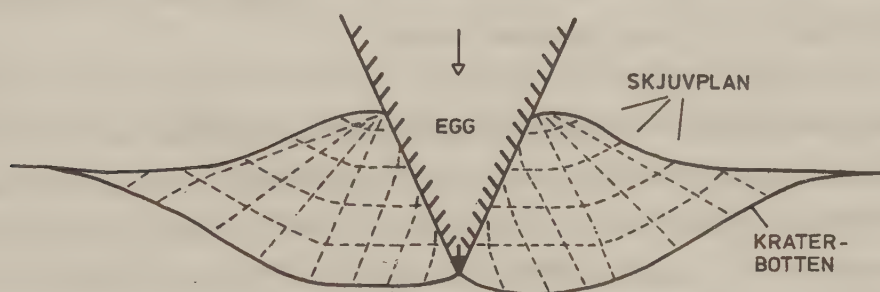
Vilka borrarverktyg som används vid de olika processerna kommer att framgå av nästkommande kapitel.

Det är främst de krossande och skärande och i viss mån nötande processerna som blivit föremål för mer ingående studier. Dessa resulterade i en rad rapporter under främst 50- och 60-talen (bl a Pennington 1954, Shepherd 1954, Fairhurst 1956, Simon 1956, Pfleider/ Lacabanne 1957, Fairhurst/ Lacabanne 1966, Cheatham 1958, Hartman 1959, och 1962, Maurer 1959, 1962, 1965 a, 1965 b och 1966, Outmans 1960, Gray 1962, Paul/Sikarskie 1965, Paone/Tandanand 1966, Garner 1967, Lundberg/Lundqvist/

Meyer 1968, Hustrulid 1968, Paul/Gangal 1969 och Pariseau 1971. Under senare år tycks denna forskning avstannat.

Krossningen erhålles genom att ett skär slås (dynamiskt) eller trycks (statiskt) mot hålbotten. De borrhingsmetoder som används skiljer sig avsevärt från varandra både vad gäller maskinell utrustning och borrverktygets utformning. Ändå blir krossningsmekanismen likartad och kan i princip betraktas som resultatet av en vertikalt riktad inträngning i hålbotten.

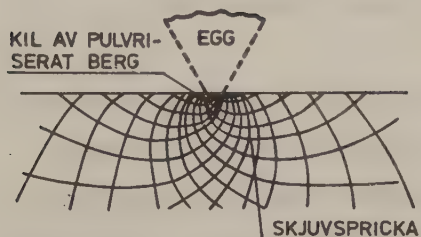
Deformation genom krossning börjar med att det formas en kil av finkorniga krossprodukter ("mjöl"). Därefter uppkommer skjuvsprickor enligt ett mönster som dels bestäms av bergmaterialet men också av eggens form och vinkel, se figur 3.2. Den blivande kratern kommer att slutligt följa den maximala skjuvtrajektorn under bildande av större lossbrutna fragment (Bl a Maurer 1966).



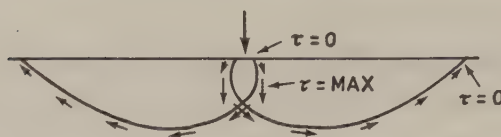
Figur 3.2 Den inledande kraterbildningen under ett egg som trycks eller slås mot hålbotten (omarbetat efter Maurer 1966)

Vid krossande borrning i plastiska eller mjukare bergmaterial bildas mindre mängder krossprodukter (finkornigt kax) än vad som produceras från sprött och hårt berg. I mjuka och/eller plastiska material används normalt spetsigare och längre egg än vid borrning i hårt och sprött material. Figur 3.3 illustrerar en modell för inträngning och kraterbildning i en mjuk och plastisk bergart.

KRATERBILDNING



DEN MAXIMALA SKJUVTRAJEKTORN

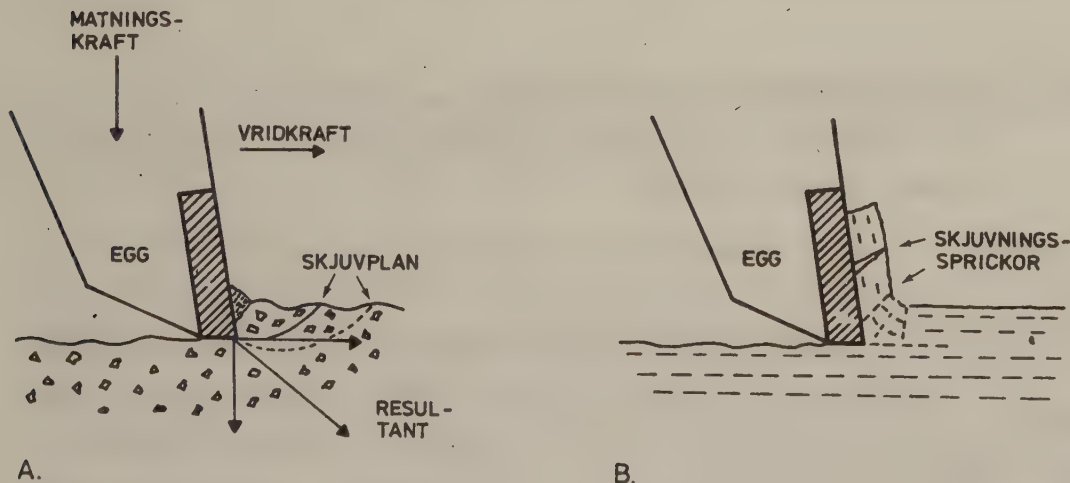


Figur 3.3 Kraterbildning vid krossande borrar
i plastiskt berg (omarbetat efter Cheatham
1958 och Outmans 1960)

Som framgår av figuren är det främst en krossning och uppspräckning i sidled som ger upphov till kratern.

När det skjuvande momentet är ensamt eller dominerande i deformationsprocessen betecknas den konventionellt som skärande. Liksom för den krossande borrarningen involverar den skärande flera borraringsmetoder och används för borrar i både hårda och lösa formationer.

Med den skärande avverkningssprocessen avses här ett egg eller annat skärande verktyg som kontinuerligt skalar eller skjuvar av fragment från hålbotten genom ett kombinerat vertikalt och horisontellt riktat tryck. Figur 3.4 ger en bild av processen.



Figur 3.4 Avverkning med skärande vertyg i (A) sprött
och (B) "plastiskt" material (omarbetat efter
Gray 1962)

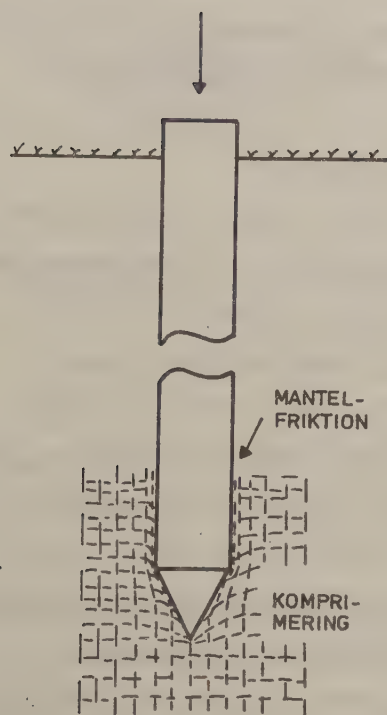
En viss krossning uppträder framför och under eggen vid borrar-
ning i spröda material, men den huvudsakliga avverkningen sker
genom avskjuvning av större fragment. Borrar-ning i plastiska
material ger normalt större sammanhängande fragment eller sjok
utan några påtagliga mängder finkorniga krossningsprodukter
(Gray 1962).

Den nötande borrar-ningen skulle i konsekvensens namn också den
betecknas som skärande, eftersom processen vid avverkningen är
identisk med den som illustreras i figur 3.4. (Barrett 1962
och Paone/ Madson 1966). Skillnaden är att den process som
kallas nötande försiggår i betydligt mindre skala till följd
av att de skärande (nötande) eggen är mindre (vanligen dia-
mant- eller hårdmetallspån). Jag har emellertid inte velat
frånga en redan etablerad benämning och därför särskilt skär-
ande och nötande borrar-ning. Dessutom är det kax som produceras
vid nötande borrar-ning uteslutande bestående av finkorniga
partiklar, vilket kan vara ytterligare en anledning att skilja
den nötande borrar-ningen från den skärande.

De övriga fyra processberättande benämningarna, undanträng-
ande, utstansande, grävande och eroderande har tidigare inte
använts i klassificeringssammanhang. De har urskilts framför
allt för att de var och en representerar olika håltagningsför-
faranden i främst löst lagrade formationer.

Den undanträngande borrar-ningen är praktiskt sett endast tillämp-
bar i okonsoliderade formationer och då sådana som dels har
ett övervinnligt friktionsmotstånd och som dessutom kan kompri-
meras tillräckligt för att ett spetsförsett don skall kunna
tränga sig ned genom materialet.

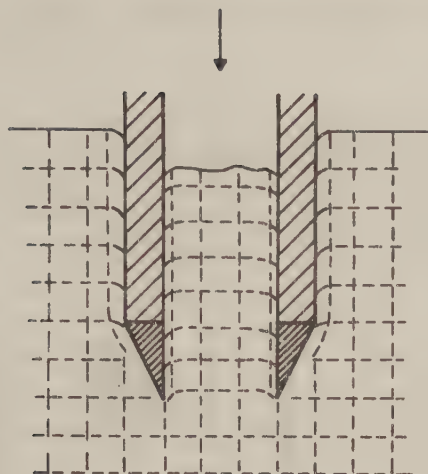
Förfaringssättet används bl a för att mäta jordparametrar i
geotekniska sammanhang som dynamiska och statiska sonderings-
metoder. Vid de flesta sonderingsmetoder mäts dels undan-
trängningsmotståndet vid spetsen och dels det friktionsmot-
stånd som uppkommer mellan rör och hålvägg, se principfigur
3.5.



Figur 3.5 Neddrivning av spets där motståndet dels består av komprimering runt spetsen, dels av mantelfriktion mot spets och rör eller stång (delvis efter Bjork 1975)

Mekanismen för undanträngningen involverar en rad mekaniska parametrar där främst kornfördelning, konsolideringsgrad, lagringstäthet och inre friktion är de mest betydelsefulla. I kohesionsjordarter torde dessutom rent kohesionära krafter samt hydraulisk konduktivitet spela stor roll vid den undanträngande deformationen. Vilka mekaniska jordparametrar man egentligen mäter vid sondering är tills vidare en obesvarad geoteknisk frågeställning (Bergdahl/Dahlberg 1973).

Det utstansande förfaringssättet har urskilts därför att detta involverar i stort sett alla de metoder för s k ostörd provtagning (kärnprovtagning) som används i jordlager (sten och blockförande jordarter undantagna). Metoden innebär i sin enkelhet att en vanligen cirkulär volym av materialet utstansas genom neddrivning av ett skärande egg och illustreras principiellt i figur 3.6. Som framgår av figuren fås en viss störning vid utstansningen, bl a genom att utstansningen medför komprimering.

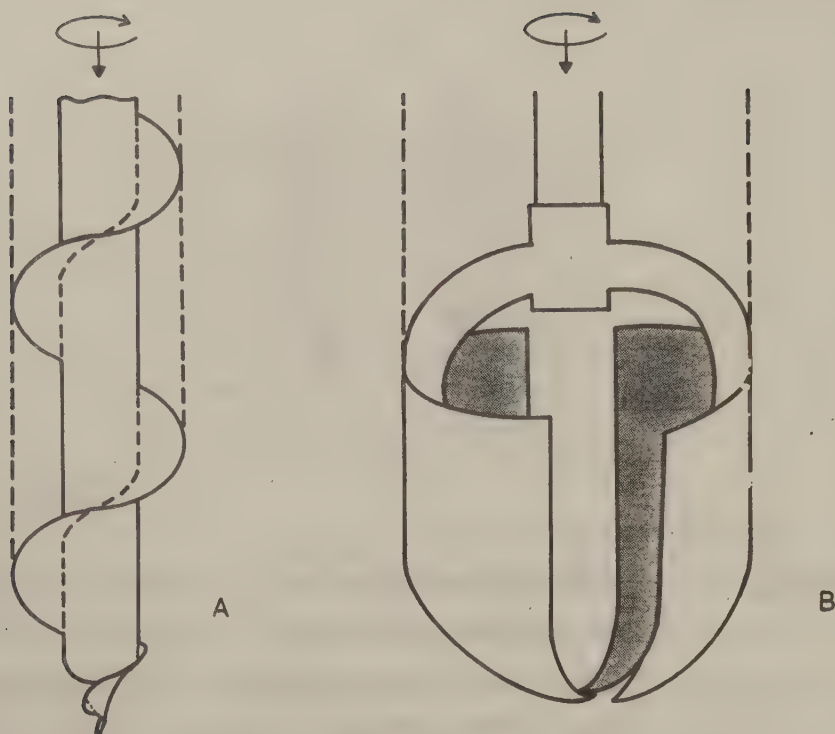


Figur 3.6

Vid utstansning av en volym jordmaterial är skären utformade koniskt så att den huvudsakliga komprimeringen förläggs mot hålväggen. Viss störning av kärnan i form av vertikal kompression och strukturell deformation i kärnans ytterkanter går dock inte att undvika

Den största tillämpningen hittar man inom den geotekniska sektorn med ostörd provtagning i främst lera samt inom den geologiska forskningen som ofta kräver ostörda prover för analys av bl a sedimentstrukturer.

En andra grupp av verktyg för utstansande borrhning är de som successivt skär sig ned eller skruvas ned genom materialet. Även dessa metoder tillhör de geologiska/geotekniska fältmetoderna för tagning av störda prover och illustreras i figur 3.7.



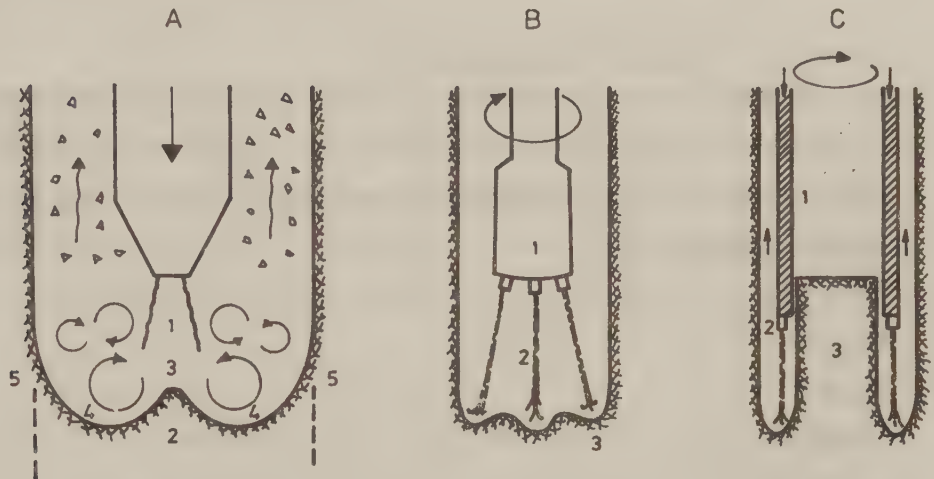
Figur 3.7 Utstansande borrhning där (A) skruvflänsens egg skär eller stansar ut en spiralformad materialvolym som sedan hämtas eller skruvmatas ur hålet och (B) spadbörrets vassa kanter skär och matar in materialet i skopan från en halvcylinderformad hålbotten

Det grävande förfarandet innebär att håltagningen sker genom den grävande inverkan som åstadkommes med ett eggförsatt verktyg eller don som trängs in i och på så vis luckrar upp och lossgör materialet. Detta förfarande praktiseras sällan som borrhningsmetod utan mera vid schaktgrävning.

Det eroderande förfarandet har en betydande tillämpning som borrhningsmetod. Här avses en destruktion som uppkommer till följd av att vätska, gas eller skum alternativt med tillsats av fasta partiklar, träffar hålbotten med sådan hastighet att fragment eller enstaka korn kan slitas loss från hålbotten och som suspension bortföras från hålet. Beroende på jord- eller berglagrets hårdhet fordras mer eller mindre höga hastigheter för att processen skall kunna äga rum.

Detta har exempelvis föranlett Maurer (1968) att indela erosionsbörning i låga respektive höga spolhastigheter (se sid 41).

Figur 3.8 visar en jetstråles eroderande inverkan på underlaget i olika system.



Figur 3.8

(A) En bred jetstråle (1) träffar hålbotten. I strålens mitt utvecklas en tryckvåg som har ringa eroderande inverkan (2). En stagnationspunkt finns i direkt anslutning till hålbotten rakt under jetstrålen (3). Den kraftigaste erosionen fås genom turbulenta flöden mot hålbotten (4) och hålväggens nedre del (5). (I huvudsak efter Mc Lean 1965 och Reh binder 1977).

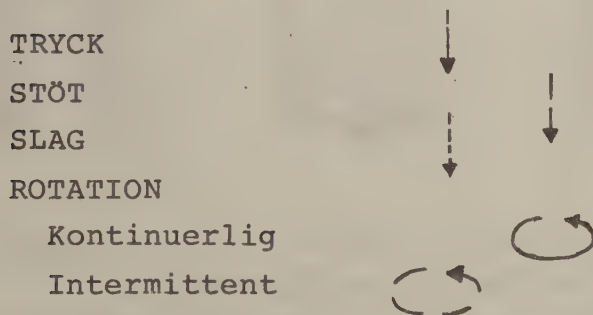
(B) Fullhålsbörning med jetstrålar. En krona försedd med flera munstycken (1) fördelar ett antal jetstrålar (2), någon mm i omkrets och med hastigheter på upp emot 600 m/s, mot hålbotten (3) (efter Maurer 1968)

(C) Kärnbörning med jetstråle. Ett kärnborrör med spolkanaler (1) är försedd med ett antal munstycken (2). Tunna koncentrerade jetstrålar med hög hastighet skär ut en kärna (3) (efter FORACO, u å)

För jetstråleborrning i hårt berg fordras en tunn jetstråle vilken påverkar berget med extremt hög hastighet för att erosion skall uppkomma. I sådant fall uppkommer ingen stagnationspunkt. I stället skärs en skåra ut i berget då strålen successivt flyttas. Denna metod är under utveckling och har på försök använts både för fullhålsborrning och kärnprovtagning (bl a Maurer 1968).

3.4.3 Kraftöverföringen

Den kraft som anbringas på borrarverkyget och som åstadkommer en destruktions i hålbotten kan indelas i olika överföringsmekanismer. Kraftöverföringen sker genom följande symbolförsedda moment:



Inget av dessa moment är sällan ensamt verkande utan förekommer i kombination med varandra. Däremot kan sägas att ett av dem alltid är dominerande för destruktionsprocessen.

Det tryckande momentet åstadkommes genom att borrarverkyget belastas dels genom bormaskinens tyngd (vid maskinell borrarning) och dels genom nere-i-hålet-utrustningens egen tyngd. Vanligen kan belastningen styras och avpassas till lämplig nivå för ett givet tillfälle.

Genom att förankra bormaskinen, exempelvis med jordskruvar kan extra matningstryck påföras - utöver maskinens egen tyngd - vilket också kan åstadkommas genom att använda påhängbara vikter eller genom att använda extra tunga borrarstänger.

Trycket på borrarverkyget (eng. weight on bit) brukar terminologiskt benämnas, matningskraft (eng thrust) och är att se som en statisk belastning.

Det stötande momentet fås genom att borrarverktyget utsätts för en upp- och nedåtgående rörelse. Den enklaste formen av stötande borrarning utnyttjar enbart gravitationskraften vid den nedåtgående rörelsen. Borrarverktyget lyfts och släpps i lina eller rörsträng. Stötfrekvensen vid sådan borrarning är låg, oftast <50 stötar/ minut. Genom att koppla rörsträngen till en fram- och tillbakagående kolv kan såväl slagfrekvens som acceleration förhöjas väsentligt.

Det slående momentet innebär att borrarverktyget belastas dynamiskt genom upprepade slag. Slagen kan antingen anbringas uppe på markytan med ett slående moment i borrarmaskinen eller också direkt på borrarverktyget ner i hålet. I det sistnämnda fallet används en nere-i-hålet-maskin vars slagverk vanligen drivs av tryckluft.

Karaktäristiskt för slående borrarning är att borrarverktyget ligger dikt an mot borrhålsbotten under hela borrarningen, vilket åstadkommes genom att borrar-kronan också belastas med ett statiskt tryck.

Slagfrekvensen är hög jämfört med stötborrarningen, runt 1000 slag/minut. Då slagfrekvensen är extremt hög blir belastningstiden/slag låg och processen kan då benämnas för vibration. Eftersom det i dessa sammanhang saknas en bestämd definition av vad som slagfrekvensmässig är vibration har "vibrerande borrarning" inte särskiljts från slående.

Det roterande momentet innebär att borrarverktyget utsätts för ett intermittent eller kontinuerligt vridmoment. Detta är normalt en inbyggd funktion i borrarmaskinen på markytan. Vid djuphålsborrning (oljeborrningsbranschen) förekommer dock att det roterande momentet sitter i sänkborrarmaskiner ("turbo-drilling"), vilka drivs med spolvätskan.

Rotationshastigheten varierar avsevärt för olika metoder. Vid momentan vridning, vanligen vid stötborrarning, rör det sig om endast ett fåtal varv/minut. Vid kontinuerlig rotation ligger oftast hastigheten mellan 30 och 300 varv/minut.

Den kraft som anbringas för att rotera borrarstänger och borkrona benämnes för vridmoment (eng. torque).

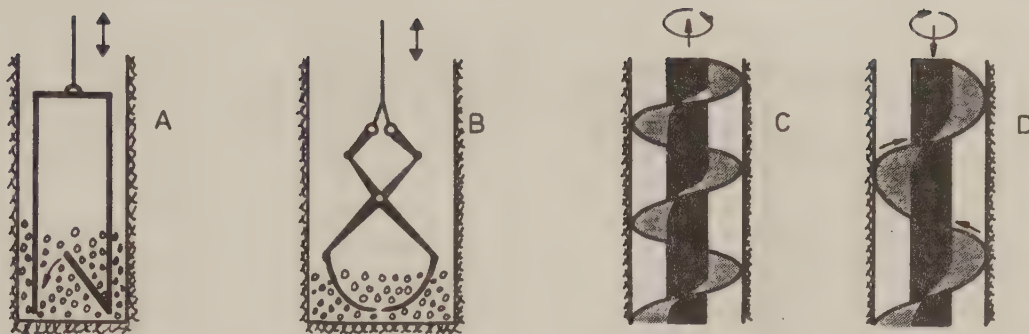
3.4.4 Hålrensningen

Vid borrarningen produceras fragment och partiklar av det berg eller den jord som genomborras. Av fundamental betydelse för att borrarningen skall kunna fortskrida och för att borrarjunkningen skall hållas optimal är att hålbotten rensas från detta s k borkkax. Jag har urskilt sex olika hålrensningsmetoder som karaktäriserar olika borraringsförfaranden, nämligen

<u>HÅLRENSNINGSMETOD</u>	<u>SYMBOL</u>
HÄMTNING	↑
MÄTNING	↪
DIREKT VÄTSKESPOLNING	⌋
OMVÄND VÄTSKESPOLNING	⌋
LUFTSPOLNING	⌋
DIMSPOLNING	⌋
SKUMSPOLNING	⌋

Vissa av dessa metoder kan ibland användas i kombination under en håltagning. Man kan exempelvis övergå från luft till vätskespolning.

Med den hämtande hålrensningsmetoden menas att kaxet intermittert bringas till markytan med hjälp av skopa, sandpump eller liknande verktyg. Under hålrensningen upphör borrarningen tillfälligt. Figur 3.9 (A-C) illustrerar några vanliga hämtande metoder.



Figur 3.9

(A) Rör med backventil (s k sandpump)
 (B) gripskopa och (C) skruv för upphämtning av borrhax samt (D) skruv för kontinuerlig uppmatning av kax

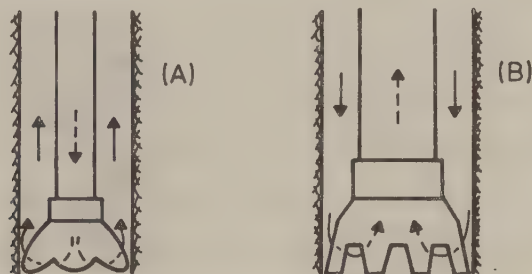
Med hålrensning medelst matning menas att borrhaxet transporteras till markytan kontinuerligt utan att borrhningen avbryts och utan att något spolningsförfarande tillgrips. Den enda idag använda principen framgår av figur 3.9 D och förutsätter en snabbare rotationshastighet jämfört med intermittent skruvborrning (3.9 C) samt högre stigning på spiralflänsarna.

Hålrensning med spolning innebär att borrhaxet transporteras bort från hålbotten kontinuerligt allteftersom borrhningen fortskrider. Som spolmedel kan antingen användas vätska (vanligen vatten), gas (vanligen luft) eller skum (oftast en inblandning av tvållösning i luft).

Vätskespolningen kan antingen nedföras direkt genom borrhören och benämnas då direktspolning eller också i utrymmet mellan borrhör och borrhålsvägg och kallas då omvänd spolning.

Av borrhningstekniska skäl tillsätts ibland kemikalier eller andra ämnen till vattnet. Spolvätskan benämnes då mudd. Också

av borrarntekniska skäl förekommer att luft och vatten blandas till ett spolmedium. Vanligen kallas detta dimspolning. Spolningsförfarandet illustreras i figur 3.10.



Figur 3.10 (A) Direktspolning med vätska, luft, dimma eller skum och (B) omvänd spolning med vätska. Pilarna anger spolriktningen

3.5 Förslag till klassificeringssystem

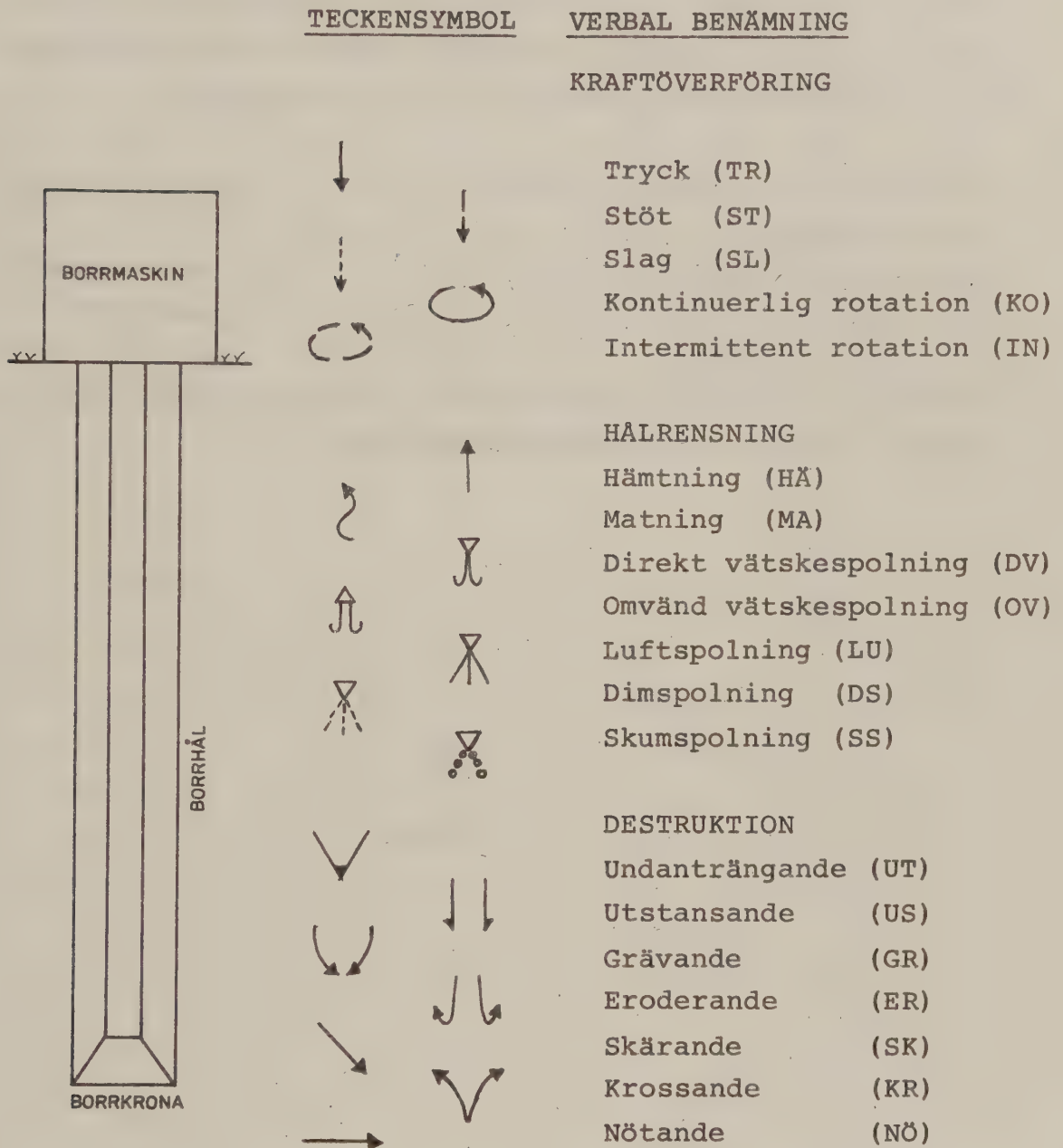
Kombineras de tre klassificeringsgrunderna som de redovisats ovan kan varje borrarnteknik, oavsett det rör sig om jord- eller bergbörning, beskrivas med en kortfattad verbal borrarnteknikisk angivelse och/eller teckensymboliskt utan att maskinella prestanda eller utrustningsdetaljer behöver användas.

I figur 3.11 har indelningsparametrarna sammanfattats.

Att använda objektivt beskrivande processord istället för vedertagna heterogent sammansatta borrarnteknikiska benämningar innebär inte ett borttagande av en djupt rotad terminologi. Det system för klassificering som presenteras här syftar mer till att vid behov komplettera de vedertagna metodbenämningarna så att deras funktion och verkningsätt bättre kan jämföras, främst för vetenskapliga ändamål. Satt i tillämpning kan exempelvis

- linstötbörning beskrivas som "en stötande krossande metod med hållrensning medelst upphämtning",
- hammarbörning som "en slående-roterande-krossande metod med hållrensning medelst luftspolning och

- diamantbörning som "en tryckande-roterande-nötande metod med hållrensning medelst upphämtning och direkt vätskespolning".



Figur 3.11

De grundläggande parametrarna för borraringsmetodisk klassificering i sammanfattning, verbalt och teckensymbolikt

I tabell 3.1 har de i kapitel 4 beskrivna vanligaste borrhningsmetoderna inordnats i systemet. Som framgår av tabellen täcker oftast de vedertagna metodenämningarna flera förfaringssätt (se också kapitel 4). Tabellen återspeglar därför också vilken bredd en viss metod har funktionellt, vilket i sin tur indirekt markerar metodens användbarhet med hänsyn till geologiska förhållanden och borrhningsändamål.

Som kommer att framgå av kapitlen 6 och 7 kommer provkvalité och annan registrering att variera avsevärt med olika förfaringssätt. Eventuella borrhprotokoll som skall direktanvändas eller arkiveras för framtida bruk bör därför innehålla en godtagbar beskrivning av det förfaringssätt (metod) borrhningen utförts på. Den ovan presenterade systematiseringen bör ha sitt största värde i just sådana sammanhang.

VEDERTAGNA METODBENÄMNINGAR	DESTRUKTION							KRAFTÖVERFÖRING					HÅLRENSNING						
	UT	US	GR	ER	SK	KR	NÖ	TR	ST	SL	KO	IN	HÄ	MA	DV	OV	LU	DS	SS
Linstötbörning	(X)	(X)					X		X			X	X		(X)				
Toppfhammarbörning							X	(X)		X	(X)				(X)		X	(X)	(X)
Sänkfhammarbörning							X		(X)		X						X	(X)	(X)
Ringkronebörning						(X)	X	(X)		X	X				X		(X)	(X)	(X)
Excenterbörning						X	X	(X)		X	(X)				(X)		X	(X)	(X)
Rotationsbörning med direktspolning				(X)	X	X	X	(X)	X		X				X		(X)		
Rotationsbörning med omvänd spolning				(X)	X				X		X					X			
Diamantbörning							X		X		X		X						
Skruv/auger- börning						X			(X)		X			X	X	(X)			
Rörbörning	X	X		(X)					X				X		(X)				
Rördrivning	X	X		(X)					(X)	X			(X)		X		X	(X)	

Tabell 3.1 De vanligaste vedertagna metodbenämningarnas inordning i klassificeringssystemet.

Parentes anger mindre vanligt förfaringsätt eller underordnat. För uttydning av förkortningar och symboler, se figur 3.11.

4. BESKRIVNING AV DE VANLIGASTE TUNGA BORRNINGSMETODERNA

4.1 Allmän bakgrund

Avsikten med detta kapitel är främst att ge en allmän beskrivning av olika borrhningsmetoder som kommer till användning i Sverige idag för såväl undersöknings- som produktionsborrning. Tonvikten har lagts på att belysa borrhningsförfarandet, faktorer som påverkar håltagningsprocessen, borrhningstekniska problem och i övrigt sådant som kan vara av vikt att känna till för att kunna dokumentera en borrhning eller uttyda ett redan protokollfört borrhål. Mindre vikt har lagts vid att beskriva de maskinella funktionerna och maskinernas prestanda. Dels faller maskinparametrarna till stor del utanför målet för denna avhandling och dels skulle dessa för att vara fullständigt beskrivna kräva en maskinteknisk kunskap som jag inte besitter.

Även om beskrivningen således är inriktad på metoder för dokumentär borrhning, dvs borrhning i undersökande syfte, ingår också de vanligaste s k produktionsborrhningsmetoderna. Detta beror på att undersöknings- och produktionsborrhning normalt inte går att särskilja ur borrhningsteknisk synvinkel. På något undantag när är det samma typ av utrustningar och samma borrhningstekniska förfarande som används för båda dessa ändamål. Skillnaden består främst i att undersökningsborrhningen oftast försiggår i mindre dimensioner och med ett speciellt program för provtagning och annan registrering. Inom exempelvis grundvattenprospekteringen förekommer dessutom att ett undersökningshål, om det givit ett gynnsamt resultat, kompletteras med brunnsfilter, foderrör, brunnsöverbyggnad, pump etc och blir en produktionsbrunn.

Vad gäller terminologin har jag valt att använda etablerade begrepp, detta för att inte skapa onödig förvirring och för att de som läser detta skall känna igen sig.

Som alla andra som beskrivit borrhmetoder har också jag måste göra en metodindelning, om inte för annat så av dispositions-skäl. Även indelningen har jag försökt hålla så konventionell

som möjligt. Tre från varandra väl avgränsade grupper av metoder bildar huvudrubriker, vilka främst definieras av kraftöverföringsmomenten, stötande, slående och roterande. Indelningen i övrigt framgår av följande tablå, i vilken också de vanligaste moderna engelsk- och tyskspråkiga motsvarigheterna angetts.

1. STÖTBORRNINGSMETODER

(Percussion drilling, Schlagbohrung)

1.1 Linstötborrning

(Cable-tool drilling, Seilschlagbohrung)

1.2 Stångborrning

(Solid rod-tool drilling, Freifallgestängebohrung)

2. HAMMARBORRNINGSMETODER

(Hammerdrilling, Hammerbohrung)

2.1 Topp- och sänkhammarborrning

(Hammer- and Down-The-Hole hammer drilling, Hammer- und Senkhammerbohrung)

2.2 Ringkrone- och excenterborrning

(Hollow-bit and excentric bit drilling, Ringkrone- und Excenterbohrung)

3. ROTATIONSBORRNINGSMETODER

(Rotary drilling, Drehbohrung)

3.1 Rotationsborrning med direktspolning

(Conv. Rotary drilling, Druckspühlbohrung)

3.2 Rotationsborrning med omvänd spolning

(Reversed circulation Rotary drilling, Inverse Spühlbohrung)

3.3 Diamantbörning (Diamond drilling, Diamantbohrung)

3.4 Skruv- och augerbörning (Auger drilling, Schneckebohrung)

4. RÖRDRIVNING (Pipe driving, Rohreinrammen)

Materialet till metodbeskrivningarna är förutom från mina egna erfarenhetskunskaper hämtade från en rad olika börningstekniska beskrivningar av vilka skall nämnas Brantly 1961 a och 1961 b, Cambefort 1964, Mc Gregor 1967, Huisman 1972, Campbell/Lehr 1974 och Johnson Division 1975. Därtill har uppgifter också tagits från broschyrer, skötselinstruktioner och liknande av vilka skall nämnas Atlas Copco 1975 och 1976 samt TRW Mission 1977.

4.2 Stötbörningsmetoder

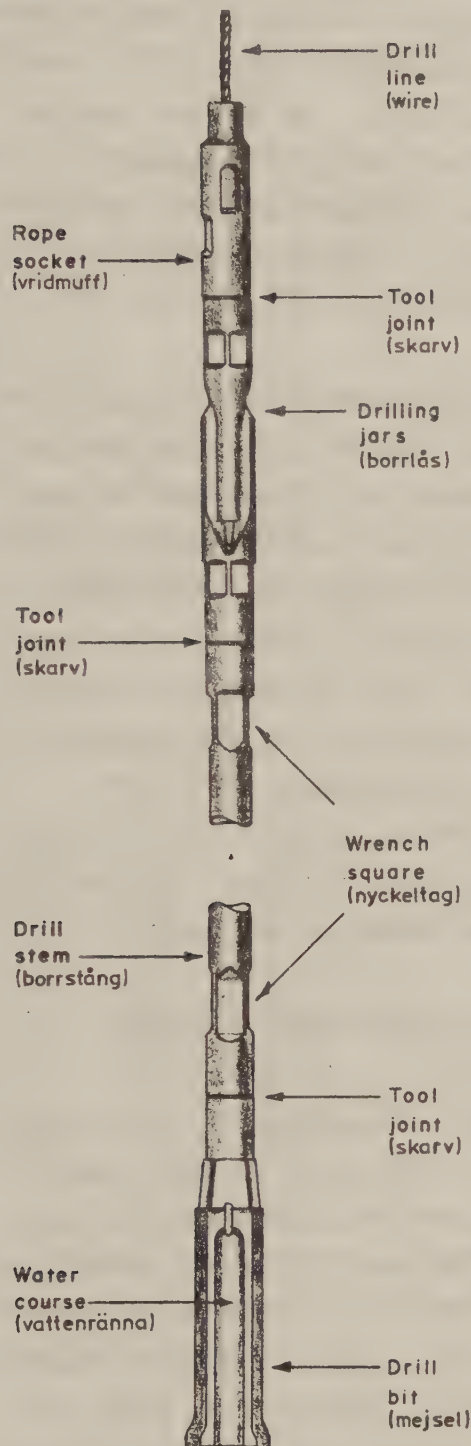
4.2.1 Linstötbörning

Linstötbörningen har anor långt bak i tiden. Metoden är utvecklad i Kina där man för mer än 2000 år sedan borrade hål för bl a gas- och saltutvinning, hål som var hundratals meter djupa (se kapitel 2).

I och med oljeepokens inledning utvecklades metoden så att man i slutet av 1800-talet kunde göra oljebrunnar som var mer än tusen meter djupa. Djuprekordet är från 1953 då en 3397 m djup brunn färdigställdes i trakten av New York, USA (Brantly 1961 a).

I Sverige introducerades metoden 1871 i samband med att de Skånska stenkolsfälten kartlades (Nachmansen/Sundberg 1936) och användes därefter flitigt som djupbörningsmetod, framför allt för undersökningsbörning under resten av 1800-talet. Inte förrän vid inledningen av det nya seklet slog den igenom som brunnsbörningsmetod. Som sådan har den alltsedan dess

varit den helt dominerande brunnborrningsmetoden ända fram till 1960-talet. Det djupaste linstötborrade hålet i Sverige är 508 m och gjordes som en förborrning till ett saltprospekteringshål på Falsterbonäset i Skåne 1954 (Brotzen 1954).

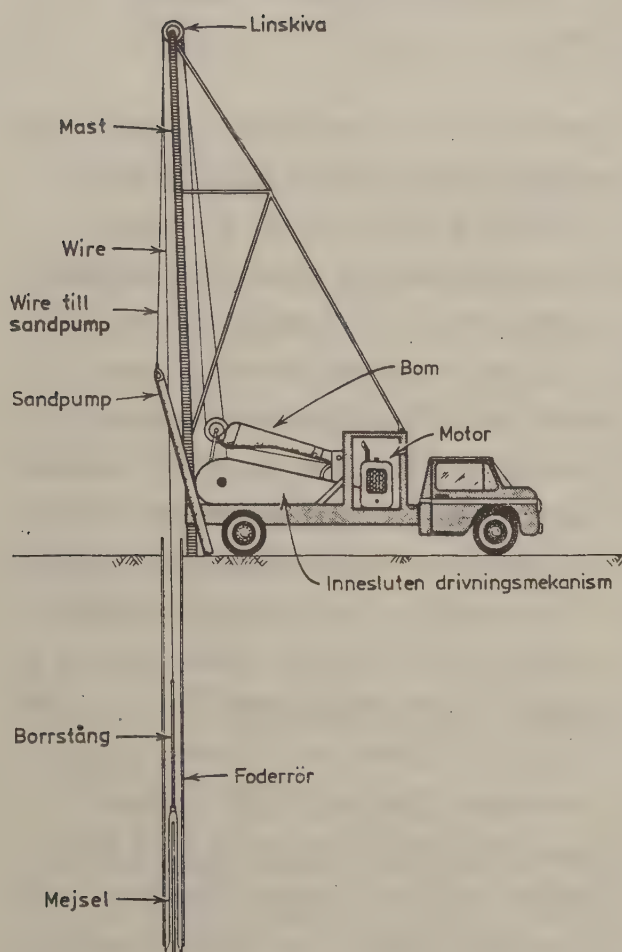


Metoden går ut på att lyfta och släppa en serie verktyg som sitter på en wire. En eggförsedd mejsel som är belägen längst ner stöter mot borrhålsbotten varvid jord- eller bergarten luckras upp eller krossas. Ovanför mejseln sitter i nämnd ordning först en "tungstång", en "stötdämpare" och en "vridmuff". Borrningen utförs med sträckt wire. Mest spänd är den när mejseln slår mot botten. På grund av linans elasticitet fås en viss "gummi-bandseffekt" som gör att den strax efter slaget återgår till utgångsläget. Den återgående rörelsen påverkar en "vridmuff" så att mejseln vrider sig ett par grader för varje slag. På så sätt kommer mejseleggen att träffa ny bottenyta varje gång. Mejseleggen består av någon form av hårdmetall och är vanligen av enkel- eller dubelskärstyp. Vid borrning i hårda formationer är eggen trubbvinklade och i lösa formationer spetsvinklade.

Figur 4.1 Nere-i-hålet-utrustning vid linstötborrning (Johnson Div 1975)

De linstötmaskiner som finns på marknaden idag är i stort sett lika i utformning, det är bara storleken och vissa maskinella detaljer som skiljer. De flesta ligger i 2-4-tonsklassen och sitter monterade på 2-axlat dragbart chassi. Endast ett fåtal sitter på terränggående fordon.

På de flesta linstötutrustningar löper wire från hålet upp över en "linskiva" högst uppe på masten. Därifrån går wiren genom ett annat hjul som sitter i ändan av en bom. Bommen fås att svänga upp och ned med hjälp av en vevstake som är ansluten till ett svänghjul, vilket drivs av en motorenhet. Figur 4.2 visar en vanlig amerikansk modell.



Figur 4.2 Linstötutrustning (Andersson/Gustafson 1980)

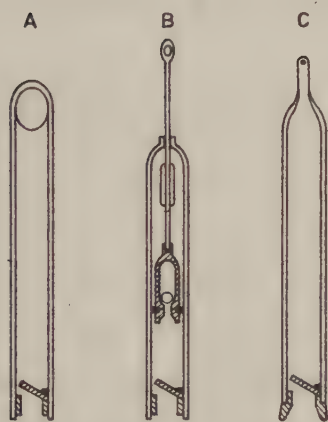
Wiren sitter upplindad runt en trumma. Genom att två eller flera anslutningspunkter för vevstaken finns på bommen kan slaglängden varieras. Den vanligaste europeiska modellen har ett excentriskt hjul istället för svängebom, i övrigt samma grundutförande. Vanligen är slaglängden ca en halv meter. Slaghastigheten ligger mellan 20 och 40 slag per minut. Borrverktygens vikt varierar med storlek och utrustning från 500 till 2000 kg.

Då man borrar genom lösa jord- eller bergformationer måste ett foderrör drivas samtidigt som borrningen fortskrider, detta

för att inte hålet skall rasa eller flyta igen. I vissa lösa jordmaterial, exempelvis sand, drivs foderröret först, varefter materialet borraras eller spolat ur. I andra material, exempelvis morän, borraras hålet först och då bitvis, 1-3 m åt gången, innan foderröret drives till hålbotten och rensas ur. Borrning med foderrör genom jordlager och lösa berglager brukar benämnas rörborrning.

Det genomborrade materialet, borrhaxet, hämtas upp med en sk sandpump. Denna består i princip av ett öppet rör, vars botten genom en platta eller en kula fungerar som en ordinär backventil. Figur 4.3 visar några sandpumpstyper.

Som framgår av figur 4.2 är sandpumpen ansluten till en separat lina och sandpumpsvinschningen sker med ett spel. Platt- eller kulventilen gör att materialet tillåts tränga in i röret då det släpps ned i hålet. Då det åter lyfts sluts ventilen och kaxet kan hämtas upp till markytan.



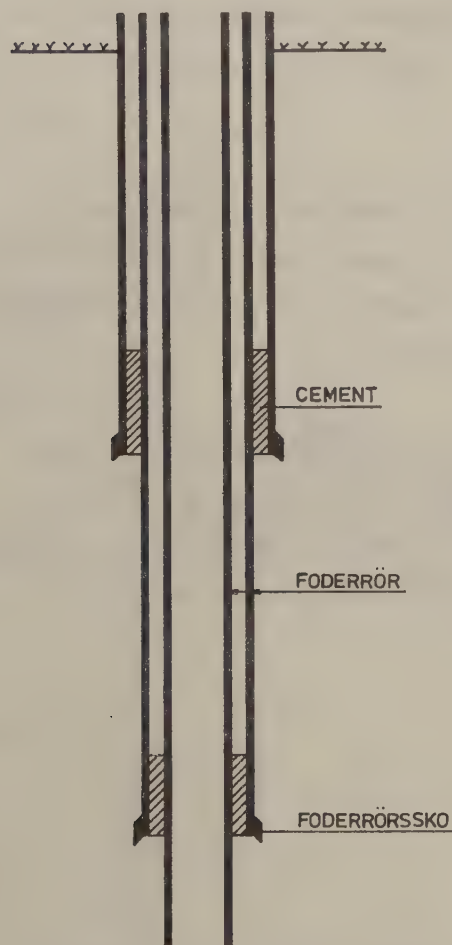
Figur 4.3 Några vanliga sandpumpar.

(A) Enkel ventilpump, (B) kolvpump och (C) Eggskodd ventilpump som också kan användas som mejsel (Huisman 1972)

Vid borrning i torra formationer, exempelvis över grundvattennivån, måste vatten tillföras hålet för att sandpumpen skall fungera.

Foderröret är i sin nederända vanligen förstärkt med en foderrörssko. Denna har en något större diameter än själva foderröret och är utformad med egg som är koniskt inåt. Foderröret vilar på en faskant inuti skon.

Foderröret slås ned genom att de tunga verktygen låses med klämmor som sedan slår på foderröret.

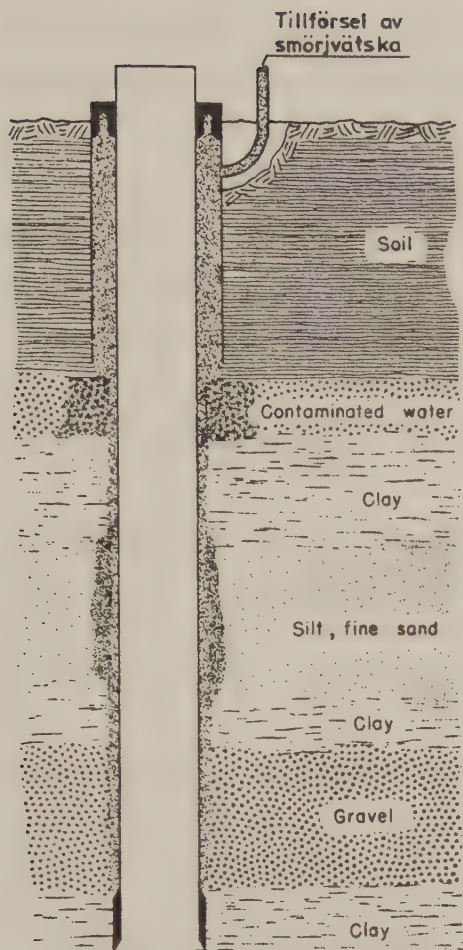


Vid borrhning genom löst lagrade formationer kommer de vibrationer som löper genom marken vid varje slag att orsaka kollaps runt foderröret. I själva verket fås en ordentlig packning, vilket gör att friktionen mellan foderrör och formation successivt ökar. Till slut är fortsatt drivning omöjlig. När detta inträffar är enda möjligheten att fortsätta borrhningen med en mindre dimension. Detta kallas teleskopförfarande, figur 4.4.

Innan varje ny dimension påbörjas fixeras och tätas den första dimensionens foderrör med cement.

Figur 4.4 Foderrör i teleskoputförande

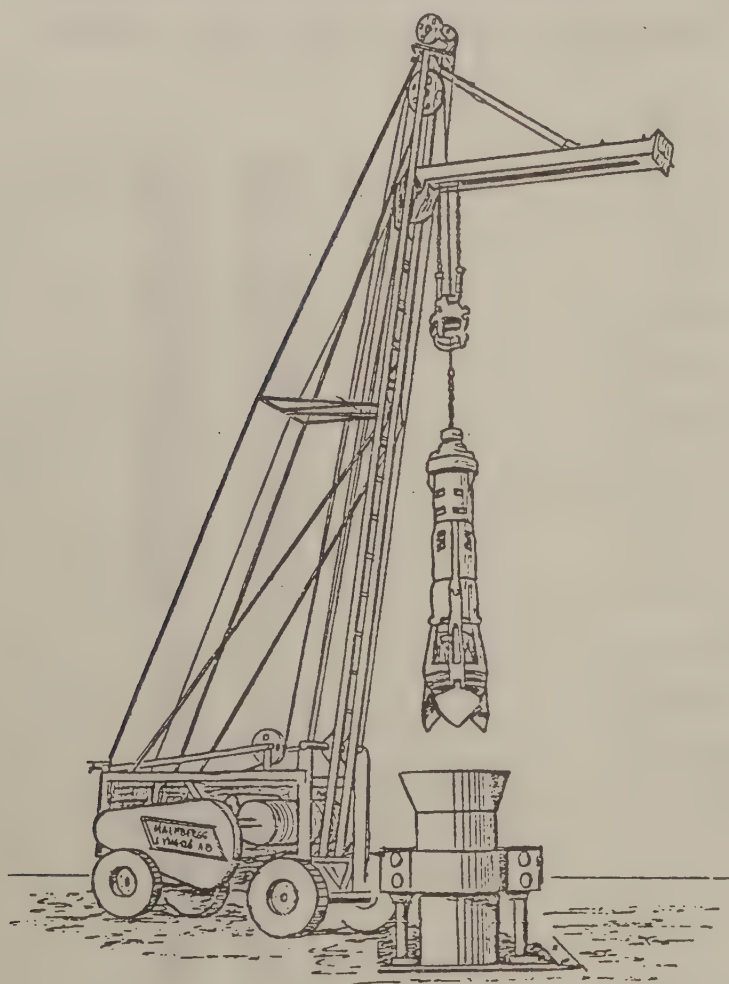
Genom att bl a smörja borrhålsväggen med skum, bentonit, eller liknande kan varje teleskopdel göras längre. Figur 4.5 beskriver ett sådant förfarande, där också ett hydrostatiskt övertryck upprätthålls i utrymmet mellan borrhålsvägg och foderrör.



Figur 4.5 Foderrörs-
drivning med smörjning
(efter Church 1960)

Då borrhningen görs i mycket stora dimensioner kan en s k polygripskopa användas, se figur 4.6. Skopan består av ett antal skovelblad. Dessa hålls öppna när skopan med egentyngd fritt får falla ned i borrhålet. Skovelbladen trycks härvid ner i den lösa formationen och när wiren sedan sträcks slutes bladen mot varandra och jordmaterialet stängs inne och kan tas upp till markytan. Detta borrhningsförfarande är relativt ovanligt i Sverige.

LINMASKIN MED POLYGRIPSKOPA



Figur 4.6 Borrning
med gripskopa (Malm-
bergs i Yngsjö AB)

Linstötborrning användes i allt mindre omfattning. Orsakerna härtill är flera. Mest bidragande är dock att linstötmaskinerna ersatts av mer snabbborrande och effektivare borraringsmetoder som hammar- och rotationsborrning.

Linstötmaskinen är emellertid den mest universella borrarutrustningen. Den kan med andra ord användas i nästan alla geologiska formationer. Nackdelen, jämfört med modernare metoder, är främst den långa borraringshastigheten, särskilt på större djup, varför den försvinner mer och mer som bergbormetod. Borrarjunkningen i exempelvis granit och gnejs ligger runt 0,5 m/tim. Metoden är dock fortfarande konkurrenskraftig för viss jordborrning, bl a när det gäller att borra och anlägga grunda och stordimensionella brunnar i grovkorniga lösa jordlager, exempelvis i stenigt åsmaterial. Detta för-

klaras också varför det trots en markant nedgång i maskinernas beläggning ändå finns ett betydande antal kvar, se kapitel 5.

4.2.2 Stångborrning

Om linan i linstötborrningen byts ut mot en skarvad rörstång med solida rör har man i Sverige sedan gammalt kallat metoden stångborrning. Metoden kom till Sverige redan på 1730-talet och då för kolundersökningsborrning i nordvästra Skåne (Nachmanson/Sundberg 1936).

Stångmetoden ersattes senare av linstötmetoden och var redan i början av 1900-talet helt försvunnen i Sverige. Metoden har dock levt kvar och utvecklats utomlands varför det kan finnas anledning att kort beröra den.

Då metoden tillämpas används ungefär samma utrustning som visats i figur 4.2, dock med den skillnaden att en sträng solida borrhör fixerats vid svängbommen, som då också förlängts. Vidare är borrlås och vridmuff, se figur 4.1, utbytt mot en speciell frifallsanordning, vilken är placerad direkt ovanför mejseln. Frifallsanordningens funktion består i att gripa och låsa borrhörstångens förlängning vid nedåtgående rörelse. Vid uppåtgående rörelse följer sålunda borrhörstången och mejseln med. Genom att borrhören vrids manuellt eller maskinellt med viss vinkel för varje stöt utlöses frifallsanordningen och mejseln faller mot hålbotten.

Metoden, som har ett antal andra varianter lämpar sig bättre än linstötborrning vid stora håldjup, bland annat beroende på att linans tyngd och elastiska tröghet ökar med ökat borrhördjup.

4.3 Hammarbörningsmetoder

Den ovan beskrivna stötande stångmetoden skall inte förväxlas med den "fullstångsborrning" som under 1900-talets första hälft användes inom gruv- och stenindustrin. Vid denna metod, som med engelsk terminologi benämns "churn drilling", satt mejseln eller skärkronan direkt på stången, vilken inte var frifallande, utan drevs upp och ned med hjälp av trycklufts-

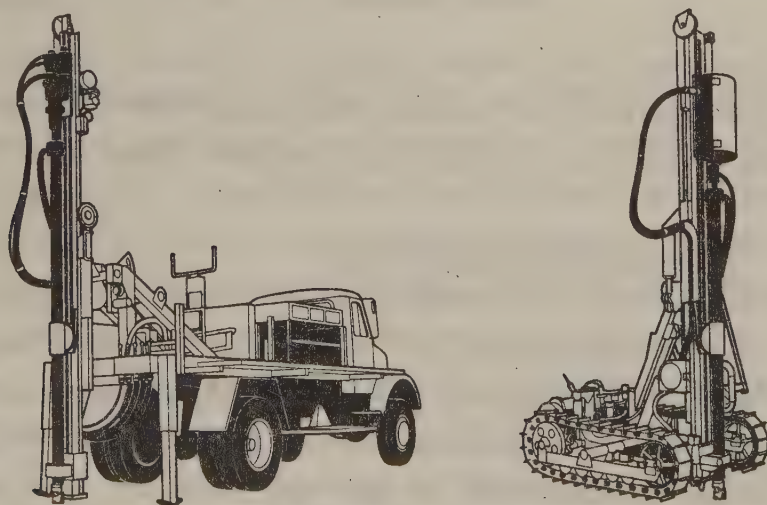
driven kolv. Denna metod utvecklades också att bli roterande och genom att använda ihåliga borrarstänger för luftspolningen blev metoden föregångaren till vad vi idag kallar hammarbörning. Ibland används också termen "tryckluftsbörning".

De idag använda hammarbörningsmetoderna är resultatet av en utveckling som skett under de senaste 20-30 åren. Utrustningarna kännetecknas av en långtgående effektivitet. Hammarbörningen tillämpas framför allt inom sten- och gruvindustrin där sk spränghålsbörning är det klart dominerande användningsområdet.

Eftersom metoden har bäst verkningsgrad i hårda bergarter har den också under senare tid vunnit stora framsteg som brunnsbörningsmetod i urbergsområden. Den har härvid successivt ersatt linstötmetoden.

Även i rent undersökande syfte har hammarbörningsmetoderna funnit en växande marknad och då på bekostnad av såväl linstötbörning som diamantbörning.

Maskinerna är av skiftande fabrikat och utseende. Det vanligaste är dock en 2-4-tons enhet på ett tvåaxlat chassi. Många har larvband eller är monterade på terränggående fordon. Figur 4.7 visar det principiella utseendet på några utrustningstyper som används vid hammarbörning.

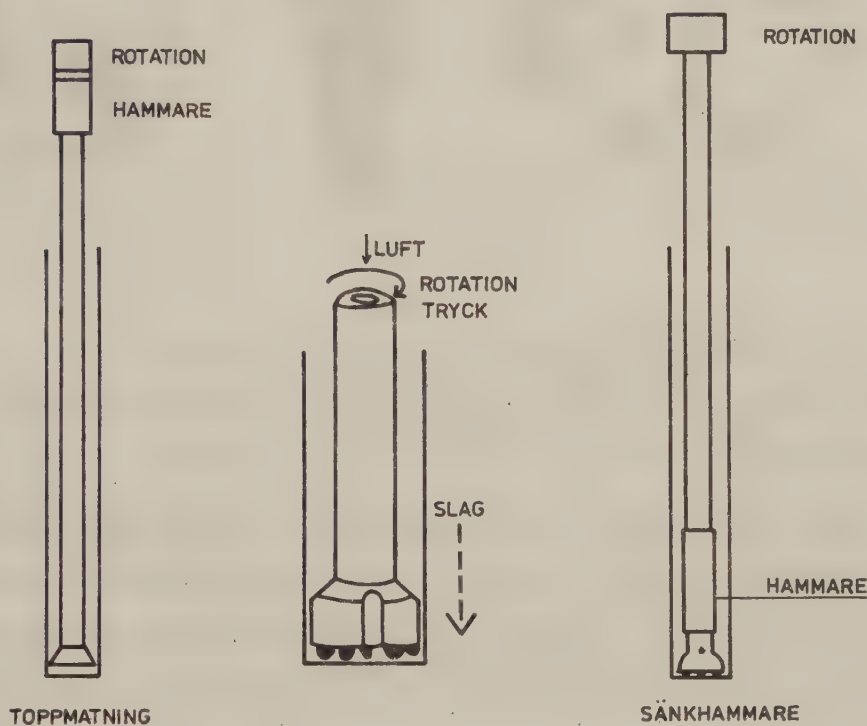


Figur 4.7

Några utrustningar för hammarbörning.
Principiellt utseende (Sandvik Coromant/
Atlas Copco 1977)

4.3.1 Topp- och sänkhammarbörning

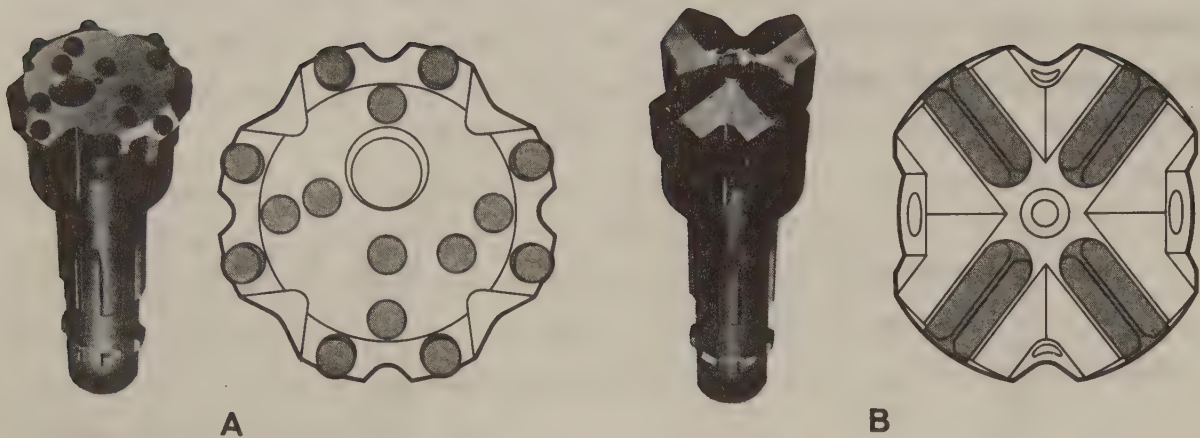
Hammarbörning sker enligt två grundprinciper. Den äldsta av dessa är när det slående momentet finns inbyggt i borrhuvudet, topphammare. Alternativet är en nere-i-hålet-motor, sänkhammare, som alstrar slagrörelsen, figur 4.8.



Figur 4.8 Principen för topp- och sänkhammarbörning

Utvecklingen av sänkhammaren har gjort att många rotationsriggar som annars används för rotationsbörning med direktspolning också kan användas för hammarbörning. Det är annars det slående momentet som utgör den största skillnaden gentemot rotationsbörning med direktspolning. Upptransporten av kax sker visserligen medelst direktspolning, dvs en spolning via borrhörens på nervägen och utrymmet mellan borrhör och borrhålsvägg på uppvägen, men som spolmedel användes nästan alltid luft, ibland dock med skumtillsats.

Hammarbörkronorna är av två typer. Antingen är de utformade med skärande egg, skärkrona, eller också med stift, stiftkrona, figur 4.9.



Figur 4.9

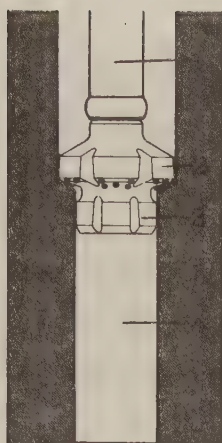
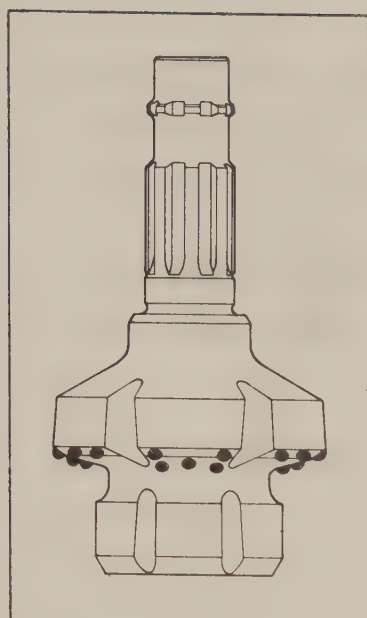
Hammarborrhkronor

A. Stiftkrona. B Skärkrona

(efter Atlas Copco 1976)

Både skär och stift består av hårdmetall i olika kvalitet, ju hårdare bergart som skall borraras, desto slitstarkare legering krävs. Verkningsgraden för de båda krontyperna är tämligen lika. Däremot anses stiftkronan ha en något större livslängd, bl a beroende på att fastsättningen av stift medger användande av slitstarkare hårdmetall än vad fallet är för skärkronan. Skären löds fast, medan stiften pressas in i kronhuvudet. Dessutom behöver en stiftkrona inte slipas om lika ofta som en skärkrona.

Kronor finns tillgängliga för borrning från ca 2". Vid borrning med topphammare är det normalt att inte överskrida 5". Sänkhammarborrning däremot är, avhängigt fabrikat, begränsad till 3 5/8" eller 4 1/2" nedåt i dimension. För närvarande (1980) finns hammare (nere-i-hålet-motorer) som tillåter borrning upp till 17". Skrymmarkrona, figur 4.10, är ett alternativ vid borrning i stor dimension.



1. Sänkborrmaskin
2. Upprymningskrona
3. Styrdel
4. Pilothål

Figur 4.10 Rymmarkrona för hammarbörning (efter Atlas Copco 1976)

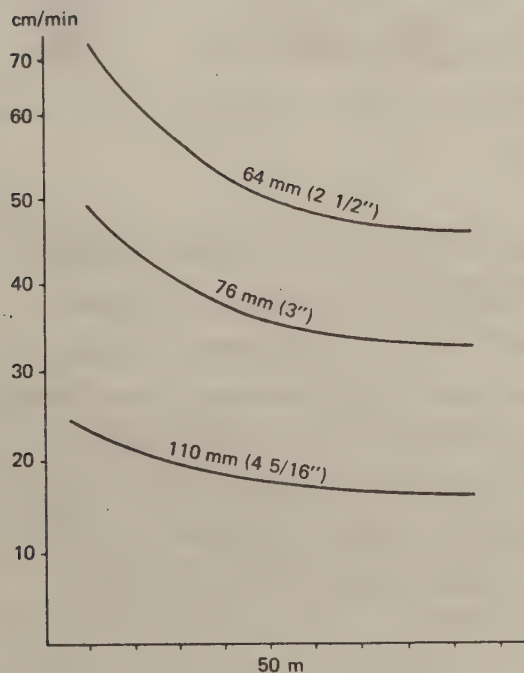
Vid borrningen alstras stötvågor med hög frekvens från topp- eller sänkhammaren som drivs av tryckluft. Frekvensen brukar ligga mellan 1000 och 2000 slag/minut. Vid topphammarbörning fortplantas stötvågen längs borrhölen ned till kronan. Borrhölen roterar en viss vinkel mellan varje stötvåg. Vid sänkhammarbörning alstras stötvågen i nästan omedelbar anslutning till borrhölen. Kontakt mellan borrhålsbotten och borrhölen upprätthålls hela tiden genom att ett visst matningstryck läggs på kronan.

Av de krafter som läggs på borrhölen är stötvågen den dominerande för destruktionsen. Trycket på borrhölen, vilket normalt hålls mellan 500 och 1000 kg/cm², syftar till att göra stötvågen mer effektiv. Det roterande momentet är i första hand till för att få borrhölen skär eller stift att träffa en ny yta för varje slag. Rotationshastigheten bestämmer också varje slags varaktighet. Normalt ligger varvtalet mellan 20 och 40 varv per minut.

Betraktar man energiåtgången i förhållande till avverkningshastigheten (specifik borrsjunkning) finner man att sänkhammarbörning har en större verkningsgrad än topphammarbörning. Detta beror på att en viss mängd stötvågsenergi går förlorad på vägen ned till borrhölen. Eftersom sänkhammaren sitter i direkt anslutning till kronan uppträder inte detta vid sänkhammarbörning. Figur 4.11 visar några borrsjunknings-

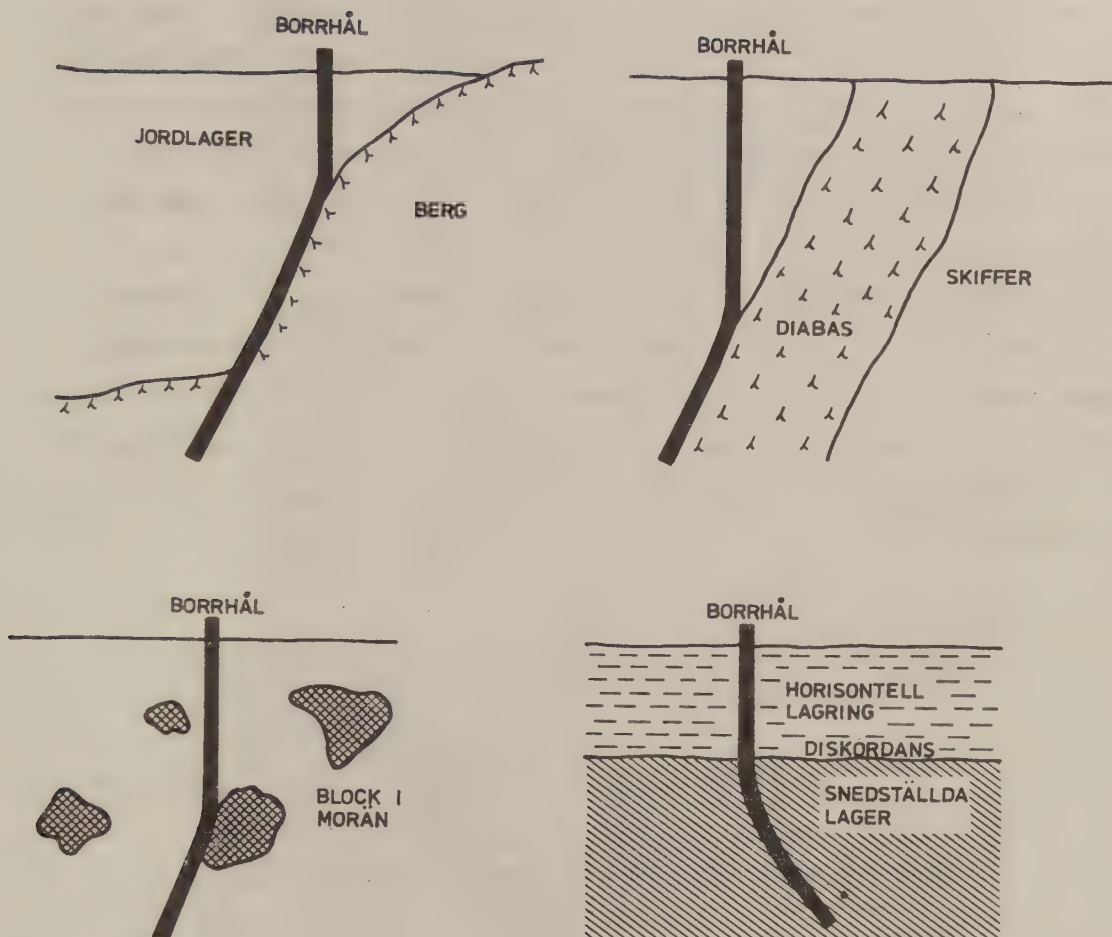
diagram vid topphammarbörning där energitillsättningen varit konstant men där borrarjunkningen successivt minskat, främst till följd av en mot djupet minskad verkningsgrad.

Energiförluster i form av reflexer och elastiska vågor uppträder också vid överföring från krona till berg, men är då ungefär likvärdigt för båda metoderna.



Figur 4.11 Borrarjunkningens avtagande med djupet vid topphammarbörning främst till följd av transmissionsförluster vid stötvågens fortplantning genom borrhölen (Tröften 1973)

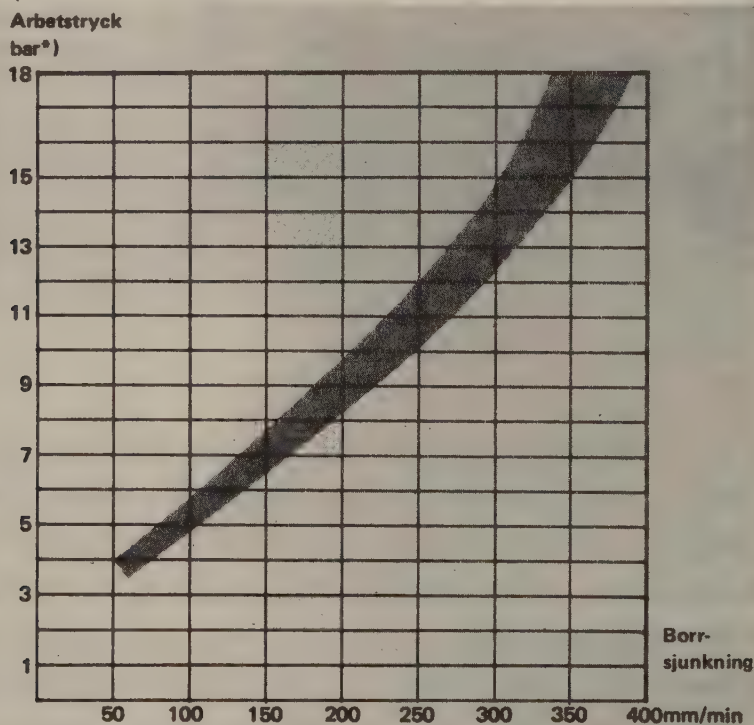
Förutom en högre verkningsgrad, vilket innebär mindre luftåtgång, har sänkhammarbörningen ett par andra fördelar. Bl a behöver de borrar som används inte vara av samma höga kvalitet och godstjocklek som vid topphammarbörning. Vidare är styrningen av borrhålet lättare (vid vertikal börning) eftersom tyngdpunkten ligger nära hålbotten. Topphammarmatning ger lättare upphov till s k snedbörning. Orsakerna till att snedhål uppkommer kan vara många. Figur 4.12 visar några geologiskt betingade sådana.



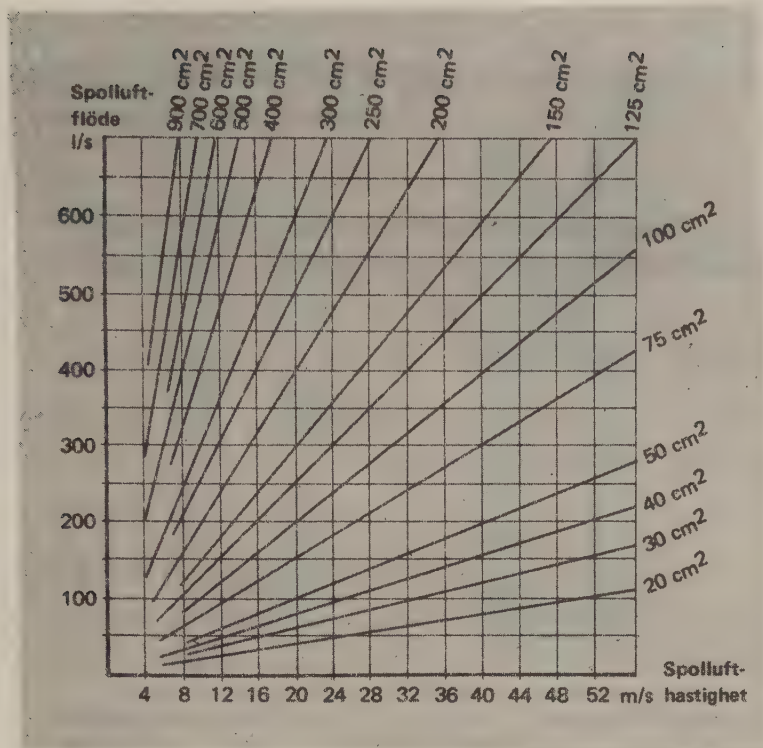
Figur 4.12 Exempel på snedborrning (deviation) till följd av geologiska strukturer

Trots sänkhammarens till synes många fördelar finns det flera sammanhang där topphammaren passar lika bra eller bättre, bl a vid rutinartad skotthåls- och injekteringshållborrning. Inom brunnsborrningen och den bergstekniska sidan spelar hammarborrning med topphammare sin största roll som metod för undersökningsborrning. Bland fördelarna kan bl a nämnas att borrning är möjlig i liten dimension (från ca 2") och därmed mer ekonomisk. Dessutom blir ofta proverna av bättre kvalitet än då sänkhammare användes, se avsnitt 6.4.2.

För att transportera borrhaxet upp ur hålet med luft fordras en hög spolhastighet. Denna går dock inte att styra utan att samtidigt inverka på arbetstryck på hammare samt luftförbrukning till matningsmotor etc. Val av luftmängd och arbetstryck är därför något som bestäms av flera samverkande faktorer. Normalt försöker man hålla ett så stort arbetstryck som möjligt för att få en hög borrhjunkning. Diagrammet, figur 4.13 visar att borrhjunkningen vid sänkhammarbörning är direkt proportionell mot arbetstrycket. Det är alltså fördelaktigt att ligga med ett högt arbetstryck. Detta medför även ett högt spillluftsflöde. Hastigheten på luften är i sin tur arealberoende, se figur 4.14. En minsta spillluftshastighet av ca 15-20 m/s är nödvändigt.



Figur 4.13 Nettoborrhjunkning vid olika arbets-
tryck (efter Atlas Copco 1976)

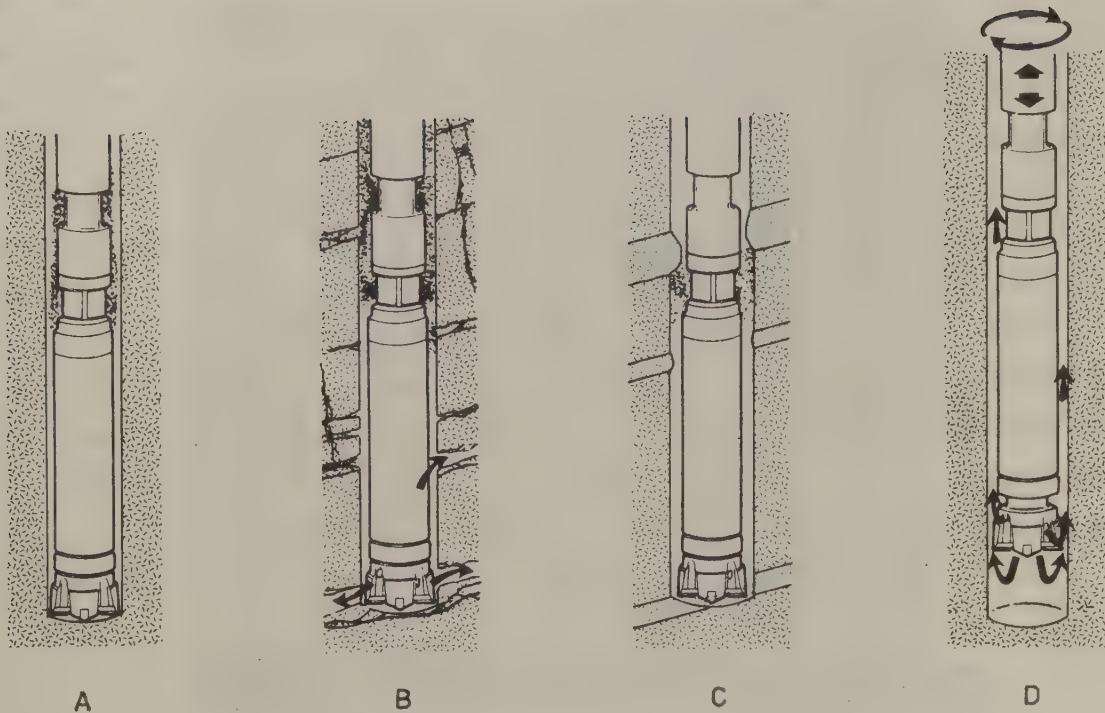


Figur 4.14 Spolluftens hastighet vid olika spolluftsflöden och genomströmningsarealer (efter Atlas Copco 1976)

Trots tillräcklig hastighet kan kax ändå ansamlas vid bredare passager där hastigheten minskar. Ibland kan så stora kaxfragment bildas, bl a till följd av ett redan sprickigt berg, att de inte kan passera upp i utrymmet mellan hålvägg och hammare. I andra fall kan en instabil hålvägg, förekomst av svällande leror, stora öppna sprickor etc försvåra håltreningen, se exemplen i figur 4.15.

Genom att lyfta krona och hammare så att slagverket stoppar rusar all luft genom hammaren, vilket ger en väsentlig ökad spolluftsmängd och därmed också en rensblåsningseffekt.

Tillsats av skum kan under vissa betingelser förbättra chanserna att genomföra borrhningen. Detta förfarande beskrivs längre fram (se fig 4.33). Stabilisering med mudd, se sid 97 ff, är ett annat sätt, men endast tillämplbart vid topphammarborrning.



Figur 4.15

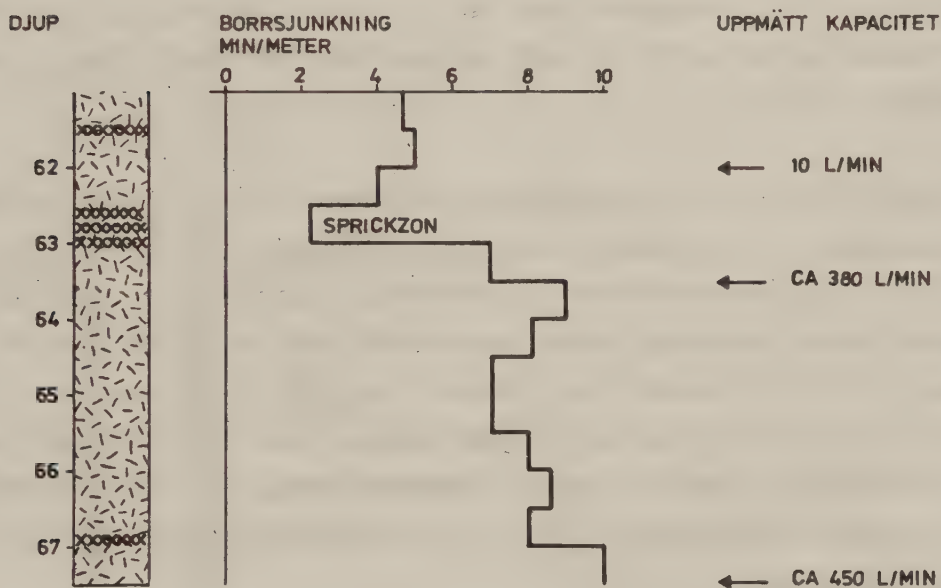
Borrkax kan ansamlas (A) i passager med minskad lufthastighet, (B) genom att hastigheten minskar genom förluster till omgivande berg, (C) eller genom att svällande leror täpper till transportvägen. (D) Genom att lyfta hammaren fås större luftmängd till spolning och hålet rensas (efter Atlas Copco 1976)

Den sammanlagda luftåtgången samt arbetstrycket är dimensionerande för val av kompressor. Normalt ligger man inom intervallet 5-20 bar vad gäller arbetstryck och 5-35 m³/min i luftmängdskapacitet.

Även om sjunkhastigheten vid hammarbörning främst är knutet till arbetstrycket (från kompressorn) inverkar också matningskraft och rotationshastighet. Några övergripande studier av dessa parametrars optimering vid hammarbörning finns inte publicerade, men vissa anvisningar ges i produktbeskrivningar etc. I princip gäller att en för hög matningskraft visar sig på att borkronan hugger fast - borkningen blir ryckig - medan en för låg matningskraft ger vibrationer och dålig borksjunk-

ning. Borrning i mindre dimensioner bör göras med relativt hög rotationshastighet, upp emot 50 vpm medan de största dimensionerna bör borras med knappa halva den hastigheten.

En faktor som starkt inverkar på borrsjunkningen är grundvattentillströmningen till borrhålet under borrningsgången. I princip gäller att ju mer vatten som flödar in i hålet ju större del av arbetstrycket går åt att lyfta vattnet ur hålet. Det blir således mindre och mindre del kvar till själva hammaren. En drastisk nedgång i sjunkhastigheten till följd av att en starkt vattenförande sprickzon plötsligt påträffats framgår av figur 4.16.



Figur 4.16 De sista metrarna av en sänkhammarborrad brunn i granit med vattenförande sprickor (Brunnsborrning, Karlshamn 1974)

4.3.2 Ringkrone- och excenterborrning

Det har alltid ansetts lättare att borra ett hål i berg än i jord. Problemen med borrning genom jordlager är många, vilket beror på att jordlagren är löst lagrade samtidigt som kornfördelningen ofta snabbt växlar både i djup och sidled. Förekomst av block, sten och flytbenägna jordarter gör det inte

lättare. För att man skall få ett stående hål krävs oftast att en hålinfodring görs under eller strax efter borrhningen.

Behovet av att snabbt och lätt ta sig igenom och infodra jordlagren för fortsatt borrhning i berg har lett fram till de rubricerade borrhningsmetodernas utveckling, vilka båda bygger på att håltagning och infodring sker samtidigt.

Utvecklingen har skett etappvis och parallellt med att hammarborrtekniken effektiviserats.

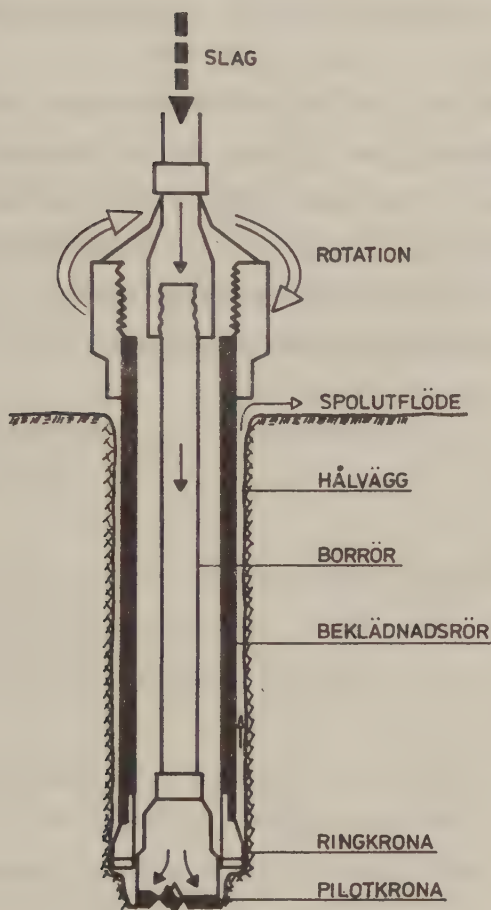
Till en början skedde nästan all jordborrhning med linstötmaskiner där infodringsröret, det s k jordborröret hejades ned allteftersom materialet inuti röret hämtades upp med sandpump eller spolades upp, rörborrhning, se sid 67. Samma typ av rörborrhning kunde också utföras med diamantborrtrrustningar, men då i begränsad dimension.

En bit in på 1950-talet började man använda diamantborrmaskinernas matnings-, rotations- och spolfunktion också vid rörborrhning. Ett ringkroneförsedd ytterrör roteras ned samtidigt med en inre borrhörssträng vars nederända vanligen försetts med skärkrona. Denna befinner sig något framför ringkronan. Spolvätska tillförs genom borrhörssträngen och återgår mellan hålvägg och beklädnadsrör. Denna metod, Craelius Duplex-metoden, har flera efterföljare, varav Lindömetoden är den vanligast förekommande.

Med början under 1960-talets senare hälft utvecklades rörborrhningen att även innefatta ett slående moment. Denna utveckling har i hög grad pågått på svensk mark och de metoder som beskrivs nedan är i huvudsak resultat av ett samarbete mellan Atlas Copco på maskinsidan och Sandvik på borrhkrone-sidan.

Samarbetet resulterade inledningsvis i en ringkronemetod som fick namnet OD-metoden (från engelskans "Overburden Drilling).

Metoden innebär en samtidig nedborrning av dels borrhör vanligen försedd med skärkrona och dels ett ytterrör med ringkrona. Borrningen utförs med utrustning för topphammarborrning. Genom att ytterröret kopplas till borrhuvudets roterande moment fås det att rotera under neddrivningen. Slagmomentet överförs via borrhören till skärkronan som ligger något djupare än ringkronan och således fungerar som pilotkrona, se figur 4.17.

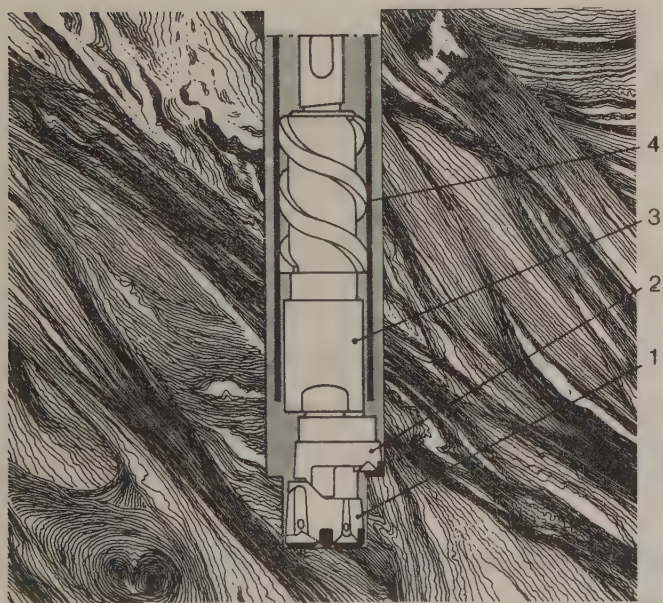


Figur 4.17 Hammarborrning med OD-utrustning. Ringkroneförsett beklädnadsrör roteras ned samtidigt med inre borrhörssträng. Borrkaxet spolas upp med luft, vatten eller skum

När berget nås kan ytterröret kopplas från borrhuvudet och borrningen fortsätta utan ytterrör. Som spolmedel kan både luft, skum eller vatten användas. Slagfrekvens, rotationshastighet och matning är liksom vid annan hammarborrning kontrollerbart. Begränsande för metoden är det roterande

ytterröret. Slagen orsakar en viss packning runt hålet vilket successivt ökar friktionen mot ytterröret. Allt större vridkraft erfordras och till slut är fortsatt borrarning omöjlig. Under gynnsamma förhållanden och med tillsats av smörjande spolmedel kan dock borrarning ske till flera tiotal meters djup. Utrustning finns för OD-borrarning mellan 2 3/4" och 5".

OD-metodens begränsning till mindre djup och små dimensioner samt det förhållandet att infodringsrör med ringkrona svårliken kan återvinnas eliminerades i och med att ODEX-metoden introducerades en bit in på 1970-talet. -EX innebär att borrarningen sker med excenterborrkrona. Denna består av en pilotkrona (vanligen skärkorna) som avverkar pilothålet och en rymmare som utvidgar hålet samt en sil- och styrdel vars ovandel är försedd med s k spiralbommar, se figur 4.18. Dessa sluter tätt mot foderrörets innervägg. Den där under sittande sildelen har en avpassad diameter så att utrymmet till beklädnadsröret inte skall tillåta annat än små kaxfragment att passera. Härvid underlättas kaxtransporten samtidigt som risken för fastkilning vid upptagning minskar.



Figur 4.18 ODEX-kronans huvuddelar.

1 Pilotkrona, 2 Rymmare 3 Styrdel, 4 Spiralbom
(Atlas Copco 1975)

Eftersom excenterkronan eller rymmaren vidgar hålet behöver foderrören inte roteras ned. I stället får de antingen följa

med ned av egen tyngd eller när friktionen blir för stor så drivs de ned med maskinens slagmoment. Rymmaren fälls ut i och tas ur borrhålet genom vridning.

Under borrningen spolas med luft eller skum. Utloppskanaler för spolningen finns i såväl pilotkrona som rymmare och sildel. Kaxet samlas i spalten mellan sildel och styrning varifrån det transporteras genom spiralbommarna och vidare upp ur borrhålet.

ODEX-metoden kan användas både vid topphammar- och sänkhammarbörning, figur 4.19.

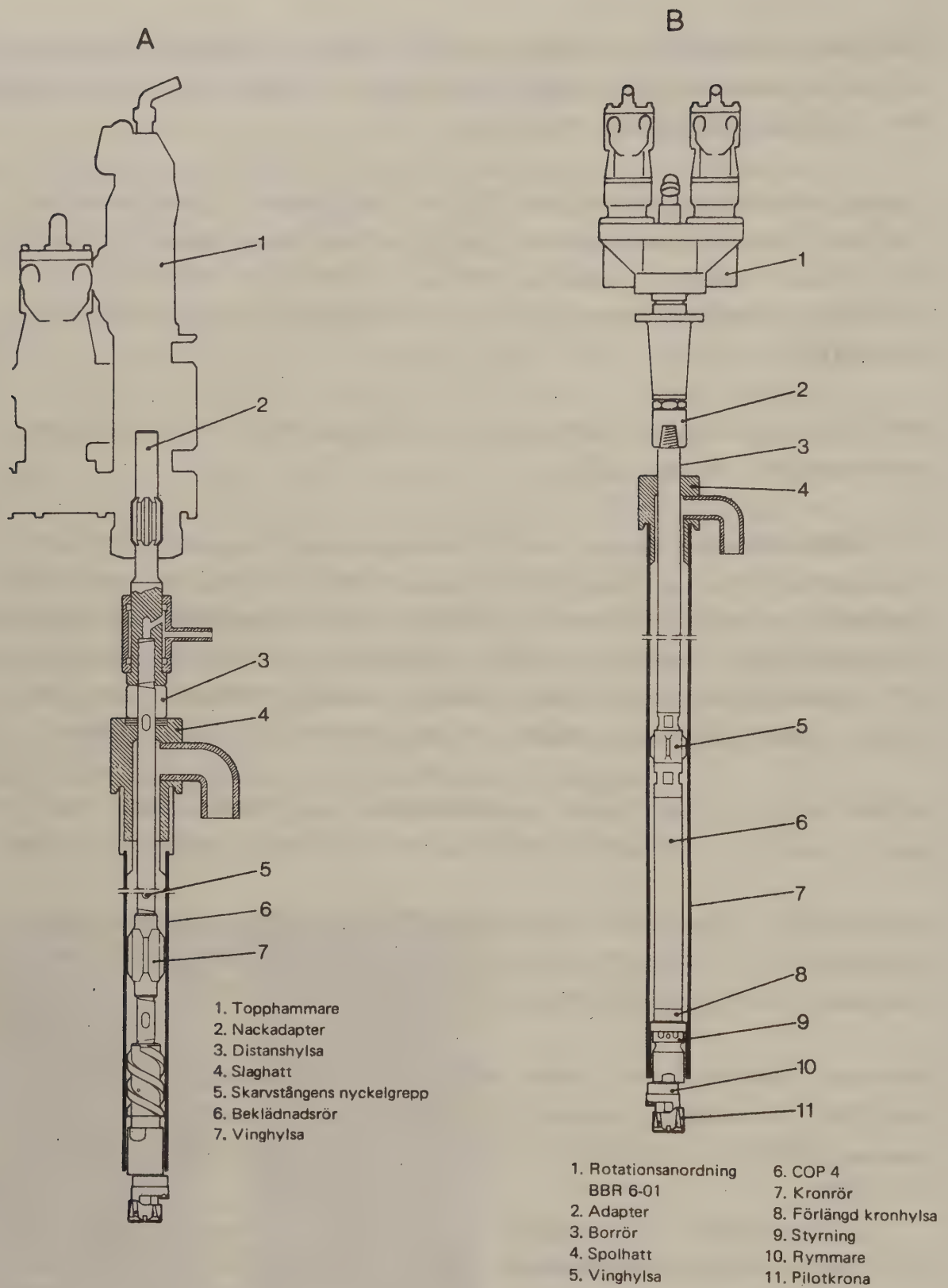
Vid sänkhammarbörning överförs en del av slagenergin till foderröret via en slagöverföringsskuldra på nederändan av den med ett kronrör förlängda hammaren till en motsvarande skuldra på foderröret, vilket således slås ned under borrningen. För att spolningen skall kunna passera skulderpartiet finns ett antal returspolningskanaler genom slagöverföringsskuldran.

Efter det att jordlagren genomborrats kan ODEX-kronan tas upp och bytas till en bergborrkrona för fortsatt börning i berg.

ODEX-kronor finns för närvarande (1980) i fyra dimensioner, nämligen 76, 115, 127 och 165 mm. Måtten anger dimensionen för fortsatt börning då foderrören satts.

Förutom ODEX-metoden finns för excenterbörning ytterligare ett par varianter, exempelvis Tiltex- och Exter-metoderna. Dessa skiljer sig dock inte nämnvärt som börningsmetod betraktat.

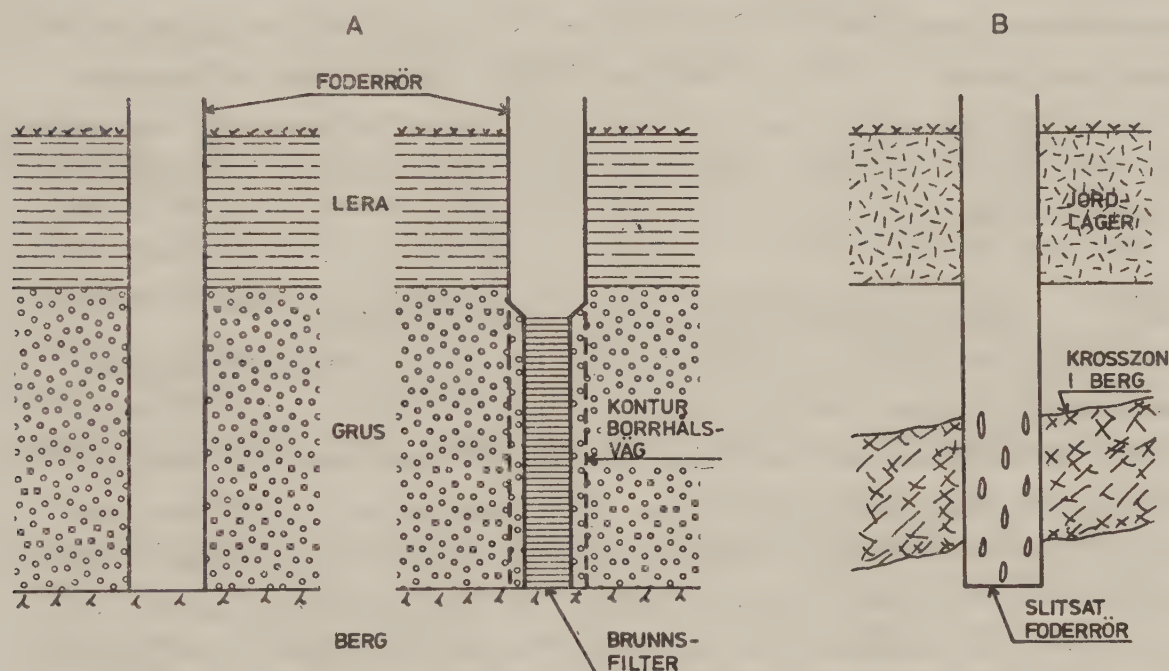
En tredje variant utgöres av J B-metoden (även Nya Asfaltmetoden) som är ett mellanting av ringkrone- och excenterbörning. Denna innebär att en ledad ringborrkrona roteras och slås ned under foderröret och således lämnar plats för detta. Ringborrkronan fås att arbeta genom att en adapterförsedd mindre borrkrona (pilotkronan) griper tag i och överför vrid- och slagkraften. Efter borrningens slut måste dock rören återvinnas.



Figur 4.19

ODEX-borrning med (A) utrustning för
topphammar- och (B) sänkhammarbörning
(efter Atlas Copco 1975)

Det är emellertid ODEX-metoden som under senare år vunnit störst spridning och användning. Bl a har den blivit en standardmetod inom brunnborrningsbranschen, där den, liksom vid diamanthörning, främst används för inklädning av jordlager innan fortsatt borrhning i berg. Inte fullt så vanligt är att borra med foderrör även i berg. I vissa delar av landet förekommer dock grundvattenförande sedimentära bergarter som fordrar inklädning, exempelvis lösa sandstenar. I sådana fall finns möjligheten att ODEX-borra genom den vattenförande formationen för att sedan sätta ett brunnfilter och slutligen dra upp rören till lämplig nivå. Alternativt kan redan slitsade foderrör användas, se figur 4.20.



Figur 4.20 (A) Sättning av förlorat filter efter ODEX-borrhning. (B) Brunn efter ODEX-borrhning med slitsat foderrör

4.4 Rotationsborrningsmetoder

Till rotationsborrningsmetoderna brukar allmänt föras de som i första hand använder en kombination av rotation och tryck för håltagningen. Ett flertal varianter finns men den klassiska metoden är den som utvecklats inom oljeborrhningen och som där betecknas som "the conventional rotary drilling method",

vilket är samma metod som vi i Sverige benämner "rotationsborrning med direktspolning".

Men det var egentligen inom gruvindustrin metoden i modern tid först praktiserades och då som en diamantbörningsmetod, och där finns den också kvar idag som kärnprovtagningsmetod under den allmänna beteckningen "diamantbörning".

Att vända på spolningsförfarandet och i stället för direktspolning använda s k "omvänd spolning" är något som vuxit fram inom brunnsbörningsbranschen, som i övrigt relativt tidigt annamade den konventionella oljebörningsmetoden.

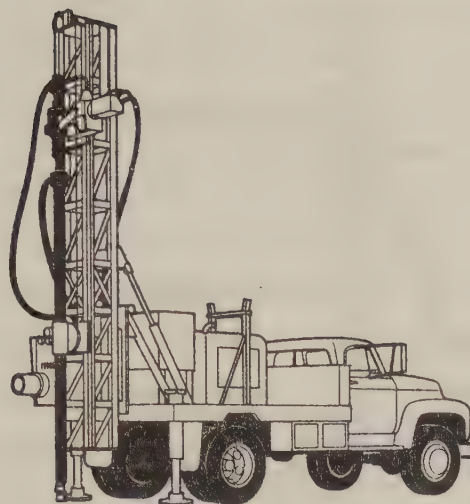
Augerbörningen, som också utnyttjar tryck och rotation men utan spolning, är en variant som dels vuxit fram ur behovet att få bättre prover än vid ett spolningsförfarande, men också ur behovet att snabbt och lätt kunna göra grunda håltagningar i lösa formationer.

4.4.1 Rotationsbörning med direktspolning

Då oljeindustrin vid sekelskiftet övertog diamantbörningsmetoden bytte man ut diamantkronan mot olika typer av krossande borrhållor som passade bättre för sedimentärt berg. Samtidigt blev utrustningarna allt större och oljeborrhållen allt djupare. Några oljeborrhållor finns inte i Sverige. Där emot har man främst inom brunnsbörningsbranschen under 1970-talet börjat använda utrustningar av mindre modell för börning till betydligt mindre djup än oljebörningens. (Det djupaste officiellt redovisade borrhålet någonsin är beläget i Oklahoma, USA, där man 1974 nådde ett djup av 9583 meter).

4.4.1.1 Utrustning och principutförande

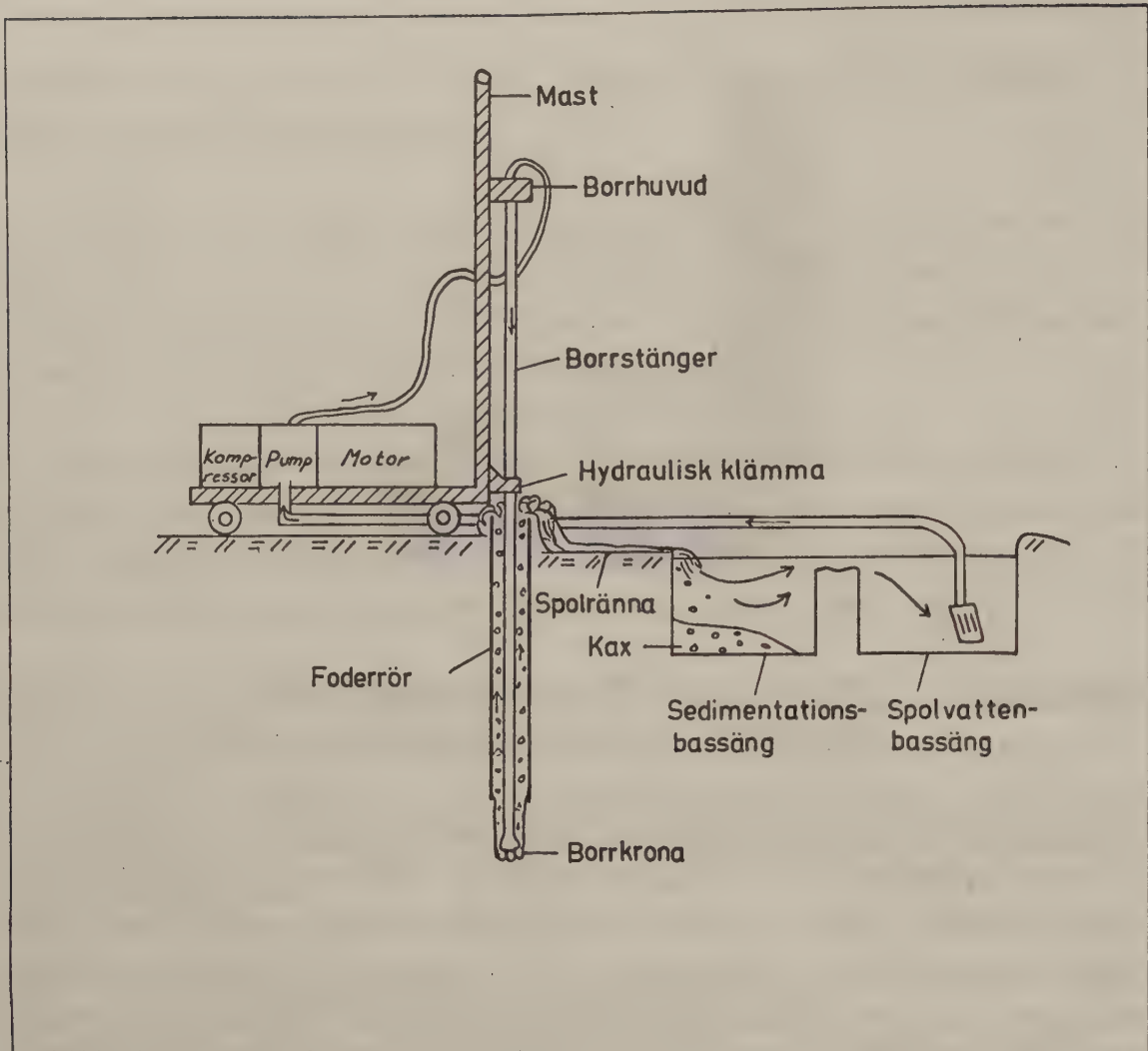
Utrustningarna varierar något i utformning, men figur 4.21 illustrerar det vanligaste utseendet. Storleken av utrustningen som ofta mäts i maximalt borrhållor vid viss dimension, skiljer sig markant. De flesta utrustningar är dimensionerade för borrhållor mellan 100 och 300 m, enstaka finns för börning till ca 1000 meters djup. I princip är det maskinens lyftkapacitet som blir avgörande för hållorjupet.



Figur 4.21 Mobil rigg för rotationsbörning
(Sandvik Coromant/Atlas Copco 1977)

Den enda större funktionella skillnaden gentemot de stora oljeborriggarna är att borrhuvudet är rörligt och kan löpa längs masten. Det är också genom denna konstruktion som matning med hjälp av hydraulkolv eller kedja blir möjlig. Oljeborriggarna har ett fixerat rotationsbord och trycket på borkronan fås där genom borrhängernas egentynghd. I övrigt är komponenterna i stort desamma och framgår av figur 4.22.

Basaggregatet är oftast monterat på en terränggående större jeep eller lastbil. På en fällbar mast sitter ett borrhuvud, vilket med hjälp av kedje- eller hydraulkolvsmatning kan löpa längs masten. I borrhuvudet sitter rotationsmomentet. Vid matning med hydraulkolvar är borrhuvudet vanligen utformat för genomgång av borrhören. Det finns då antingen hydrauliska klämmor som nyper om det runda borrhstålet inne i borrhuvudet eller också användes ett fyrkantigt borrhör, s k kelly, överst för att överföra vridmomentet till de runda borrhören. På moderna riggar är nästan alla funktioner hydrauliskt drivna.



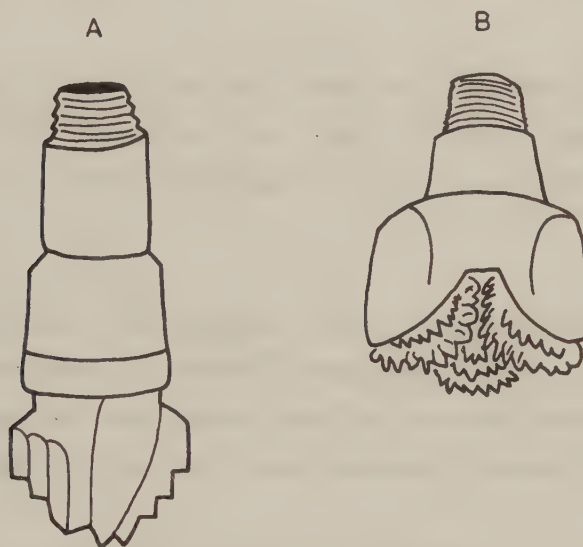
Figur 4.22 Rotationsborrning med direktspolning i principutförande (Andersson 1974)

Även spolpumpen drivs ibland hydrauliskt. Det hydrauliska systemet har antingen en egen motor eller också, vilket är vanligare, används jeep- eller lastbilsmotorn för att driva hydraulpumparna.

Beroende på geologiska förhållanden användes olika borrkronor. Ett stort urval finns. För krossande borrrning i medelhårt och hårt berg används tandförsedda s k rullborrkronor och för skärande borrrning i mjukare formationer användes olika typer av skärkronor, se figur 4.23.

Rensningen av hålbotten åstadkommes genom att, såsom figur 4.22 visar, kontinuerligt cirkulera en spolvätska, antingen bestående av rent vatten eller också vatten med tillsatser,

s k mudd. Vätskan leds via en högtryckspump, vanligen en kolvump, ned genom borrhören under högt tryck. På borrhkronan sitter munstycken som ger vätskan en hög hastighet, jetting-effekt, vilket gör att borrhålsbotten hela tiden kan hållas ren från kax. Vätskan för sedan kaxet upp ur borrhålet i utrymmet mellan borrhålsväggen och de roterande borrhören. Väl uppe vid markytan ledes spolvätskan först till en bassäng där kaxet får sedimentera varifrån det sedan via en spolbassäng åter pumpas ned i borrhålet.



Figur 4.23

Borrhkronor för rotationsborrning

(A) Skärkrona för lösa eller mjuka formationer. Ett otal varianter finns. (B) Tandrullkrona för medelhårda och hårda formationer. För mycket hårda bergarter används stiftförsedda hjul

4.4.1.2 De viktigaste borrhningsparametrarna

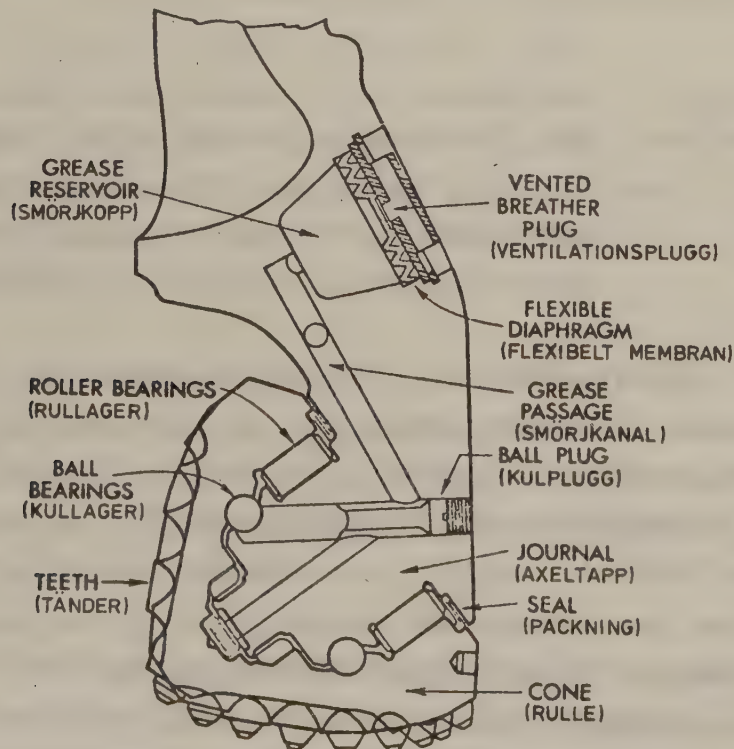
Under borrhningen kan både tryck på borrhkronan, (matningstryck), hastigheten varmed den roterar, (rotationshastighet), och spolvätskans cirkulationshastighet, (pumpslagsfrekvens), regleras. För att erhålla en effektiv borrhning måste i första hand dessa tre parametrar samverka i ett optimalt beroende till varandra. Ingen annan borrhningsmetod har studerats så ingående avseende dessa och andra borrhningsparametrars inverkan på borrhningsprocessen som just den roterande krossande borrhningen (se bl a Campbell/ Lehr 1974).

Eftersom många av borraringsparametrarna och dessas inbördes samband till stora delar är allmängiltiga och av principiellt stort intresse vid provtagning och annan registrering, bl a borrarjunkning, se kapitel 7, finner jag det lämpligt att i detta avsnitt fördjupa beskrivningen att även innefatta vissa parameterstudier.

Låt oss inledningsvis titta närmare på rullborrhkronan, vilken är den som användes till 90-95 % vid aktuell borraringsmetod. Figur 4.24 visar en av de tre konformade och tandförsedda rullarna.

Begränsande för en rullkronas dimension är framför allt rulllagren. Om dessa görs för små tål de inte den tryckbelastning som erfordras för att trycka tänderna ned i och krossa formationen.

Den minsta rullkrona som tillverkas för rotationsborrningsändamål är $3\frac{1}{2}$ " och de största 3-konade kronorna är ca 20". Rotationsborrning med direktspolning överstiger dock sällan 8 à 9". Den vanligaste dimensionen vid undersökningsborrning är $4\frac{1}{2}$ ".

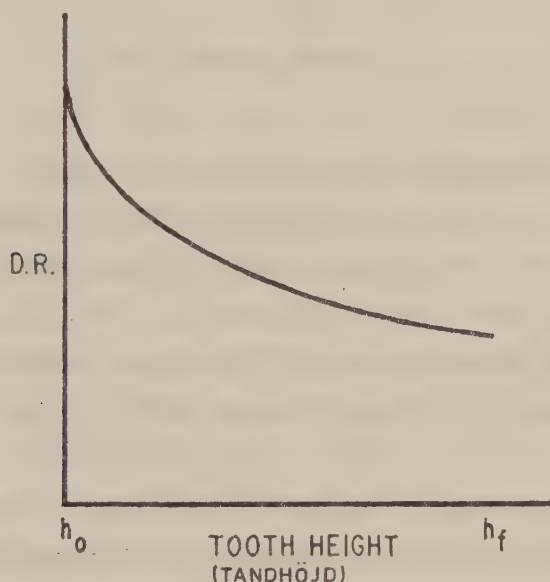


Figur 4.24

Rullborrhkronans olika delar (Cunningham 1960)

Längden på borrhkronans tänder är en av de faktorer som påverkar borrhningshastigheten. Val av tandhöjd görs utifrån den förväntade hårdheten på de formationer som skall genomborras. Som tumregel gäller att i mjuka formationer använda långa smala tänder och i hårda formationer korta och knubbiga.

Under borrhningen nöts och trubbas tänderna successivt, se figur 4.25, vilket gör att kronan måste bytas med jämna mellanrum. I medelhårda bergarter är kronan vanligen förbrukad efter 50-100 m borrhning.

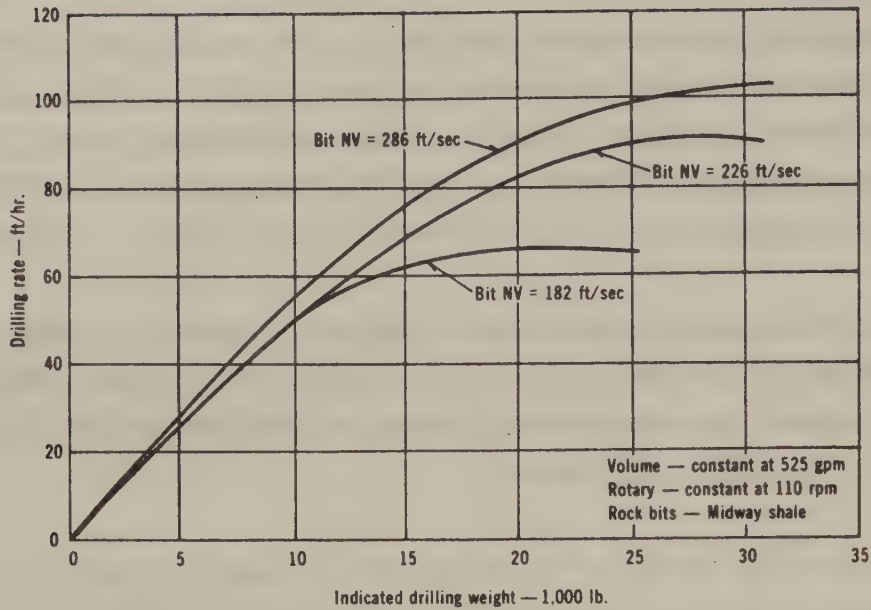


Figur 4.25

Effekten av tandslitaget på borrh-sjunkningen (efter Edwards 1964)

D.R. = borrhsjunkning

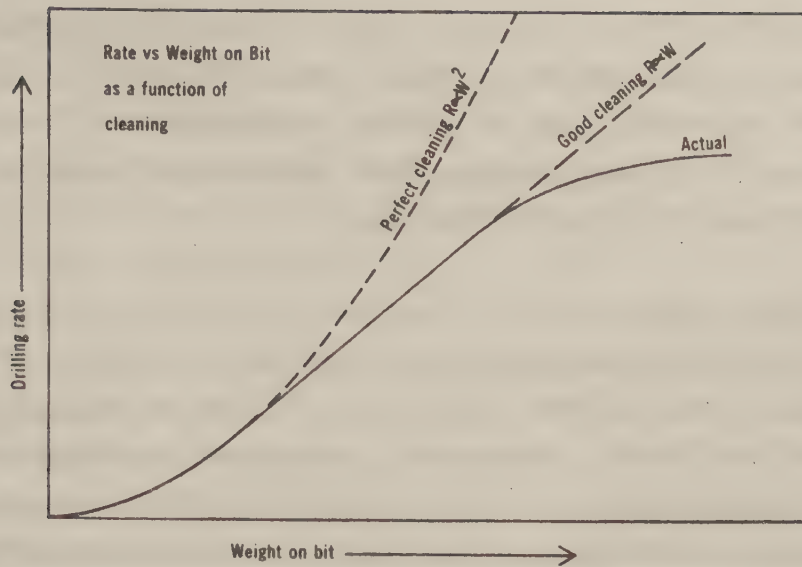
Man kunde kanske tro att ju hårdare tryck man lägger på borrhkronan ju snabbare borrhsjunkning skulle man få. Detta är också sant, men bara till en viss gräns. Förhållandet borrhsjunkning/matningstryck framgår av figur 4.26, som också visar jettingeffektens betydelse för borrhsjunkningen.



Figur 4.26

Förhållandet mellan borrhjunksning ("Drilling rate") och matningskraft ("Indicated drilling weight") vid olika jetstrålehastigheter ("Bit NV") då flödesvolym ("Volume") och rotationshastighet ("Rotary-rpm") hålls konstant (Eckel/Rowley 1957)

Att borrhjunksning successivt minskar vid ökad matning beror på att rensningseffekten i borrhålsbotten successivt avtar. För att erhålla bästa möjliga effekt av insatt energi måste nämligen allt det kax som bryts loss spolas bort omgående för att inte sekundärkrossas. Förhållandet åskådliggörs i figur 4.27.

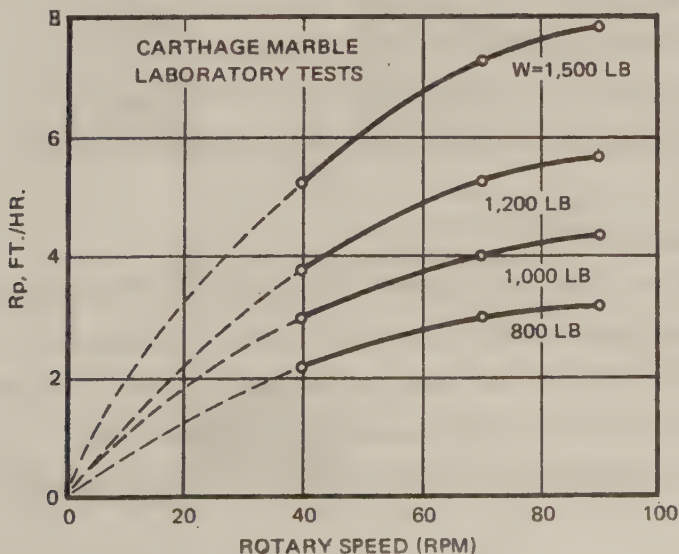


Figur 4.27

Sjunkhastighetens ("Drilling rate") förhållande till matningskraft ("Weight on bit") som funktion av rensning ("cleaning")
 R = borrsjunkning, W = vikt på borrhkrona (Moore 1968)

Perfekt rensning ("perfect cleaning") kan i praktiken aldrig nås. Den verkliga rensningen ("actual") blir därför alltid en funktion av matningskraft och jetstrålens hastighet.

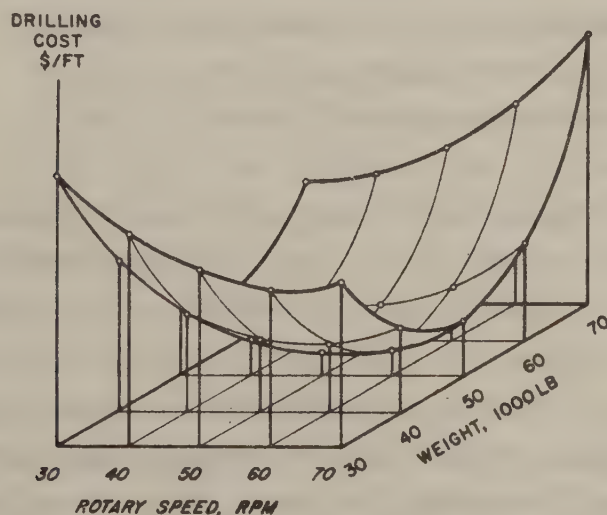
Det råder också ett klart samband mellan borrsjunkningshastigheten och rotationshastigheten (antal varv per minut). Ju större belastning borrhkronan utsätts för, desto större effekt har rotationshastigheten på borrsjunkningen. Förhållandet framgår av figur 4.28.



Figur 4.28 Sambandet mellan borrsjunkning ("Rp") och rotationshastighet ("Rotary speed") vid olika matningskrafter ("W"). Resultat av laboratorieförsök på marmor. (Moore 1960)

Men även här finns gränser uppåt. Delvis inverkar tidigare omnämnd rensningseffekt, men främst beror det på att tänderna på rullarna inte hinner tränga optimalt ned i formationen vid för höga rotationshastigheter. Borrörens rotation överförs ju proportionellt till rullarna.

De olika parametrarnas inverkan på borrarjunkningen är inte enbart en borrarsteknisk fråga utan i hög grad också en ekonomisk. Detta kan illustreras i ett tredimensionellt diagram, figur 4.29, där rotationsparametern sammanvägts med borrartryckparametern. Som framgår erhålls den största borrarjunkningen och därmed den lägsta relativa kostnaden vid 50 varv per minut och ca 25 tons totaltryck på kronan i just detta exempel.



Figur 4.29

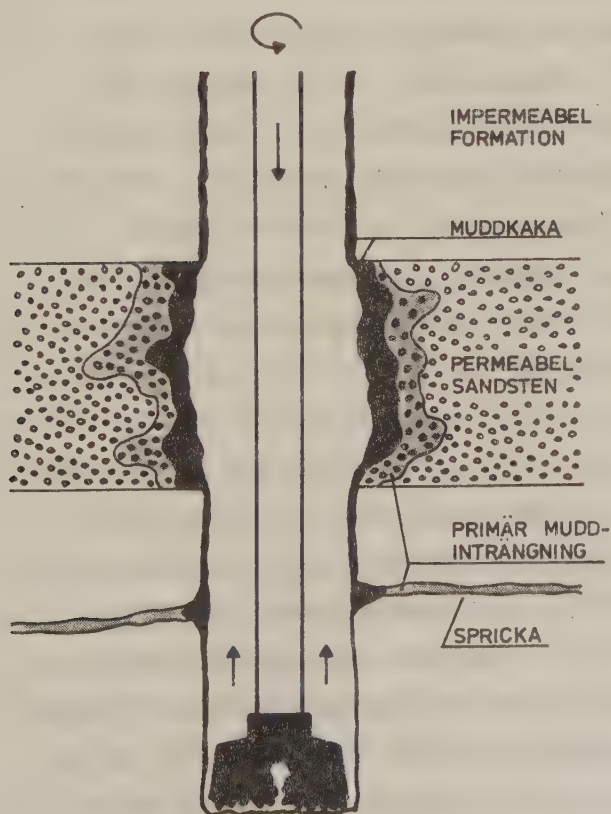
Optimering av matningskraft ("Weight") och rotations hastighet ("Rotary speed") för lägsta borraringskostnad ("Drilling cost"). Borrarjunkning är således uttryckt som en kostnad per borrarad längd (Young 1969)

4.4.1.3 Spolvätskans funktioner

Som tidigare nämnts används för det mesta någon form av vätska för att transportera upp borraraxet ur hålet. Vätskan har emellertid fler funktioner. Bl a fås en kylning och i viss mån smörjning av borrar-krona, borrarör och pump. Viktigare är kanske att det hydrauliska övertryck som skapas i hålet medför

att borrhålsväggen hålls uppe och att borrning därför kan ske utan drivning av foderrör, även i helt okonsoliderade lösa formationer. Detta förutsätter dock att det hydrostatiska trycket i borrhålet (vätskepelarens längd x densitet) är större än det porvatten- och formationstryck som påträffas i de formationer som genomborras.

En förstärkt borrhålsstabilisering fås genom att tillsätta olika ämnen. Spolvätskan kallas då mudd. Vanligast är att använda ett naturligt lermineral, bentonit, som blandas i spolvattnet så att en mer eller mindre tjockflytande blandning erhålles. Under borrningen tränger bentonitmudden ut i formationens porer och sprickor. När rörelsen upphör, gelar bentoniten och en s k muddkaka byggs upp mot borrhålsväggen, se figur 4.30. Härmed förhindras bl a att det sker storskaliga utträngningar av spolvätska i porösa eller sprickförande lager, s k spolförluster. I värsta fall kan spolförluster orsaka att det hydrostatiska trycket i borrhålet sänks till sådan grad att hålet kollapsar. I ett sådant läge har borrararen oftast förlorat inte bara hålet, utan också dyrbar utrustning.



Figur 4.30 Bildning av muddkaka på borrhålsväggen då gelande eller viskositetsförhöjande medel används i spolningen

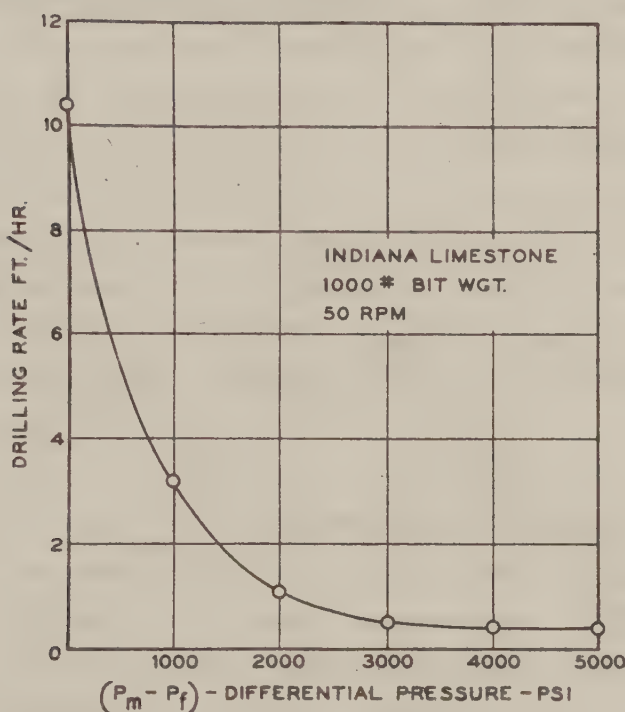
Ett annat fall då risk för hålkollaps föreligger är vid rörpås-
skarvning. Eftersom spolpumpen då måste stängas av sjunker
trycket i borrhålet. Helst bör man upprätthålla ett övertryck
motsvarande ca 5 m vattenpelare för att undvika ras. I de
lägen man borrar sig ned i en formation med artesiskt grund-
vatten är faran som störst eftersom man inte märker detta
under själva borrhningen.

Det finns inom brunns- och oljeborrhningen en hel vetenskap om
mudd och muddblandningar. Då man borrar mycket djupa hål är
det bl a väsentligt att kunna styra bormuddens densitet,
viskositet, bärförmåga, pH-värde etc. Därför finns det på
marknaden tusentals olika komponenter att välja på för att få
rätt muddsammansättning vid rätt tillfälle.

Vid grundare borrhningar behöver muddkompositionen inte vara
lika sofistikerad, men den skall för den skull inte förbises.
Det är t ex inte alltid lämpligt att använda bentonit för
stabilisering och förhöjd viskositet. Orsaken är att bento-
niten efter utträngning och gelning i formationen är svår att
få bort. På bekostnad av snabb och problemfri borrhning kan
resultatet vid exempelvis brunnsborrning därför bli en dålig
brunn eftersom kvarvarande bentonit hämmar tillströmningen
till brunnen, jämför figur 4.30. Detta har under senare år
uppmärksamrats inom brunnsborrningsbranschen och idag finns
flera olika alternativ till bentonit. Det är preparat som är
baserade på cellulosa eller stärkelse. Efter borrhningens
genomförande bryts dessa gelande substanser ned genom mikro-
biologiska processer. Genom tillsatser av enzymer och kemi-
kalier kan nedbrytningstiden styras.

Så länge det är borrhningstekniskt möjligt är det av flera skäl
lämpligt att använda rent vatten som spolvätska. Exempelvis
påverkas borrsjunkningen i negativ riktning vid tillsats av
densitetsförhöjande ämnen. Ett ökat hydrostatiskt tryck mot
hålbotten för nämligen det med sig att den krossande pro-
cessen får minskad verkningsgrad eftersom bergmaterialet blir
mer "plastiskt" ju större tryck det utsätts för. Härvid blir
kaxfragmenten mindre, samtidigt som de hålls kvar i kratern av

trycket och förhindrar en effektiv spolrensning. Förhållandet framgår av figur 4.31.



Figur 4.31

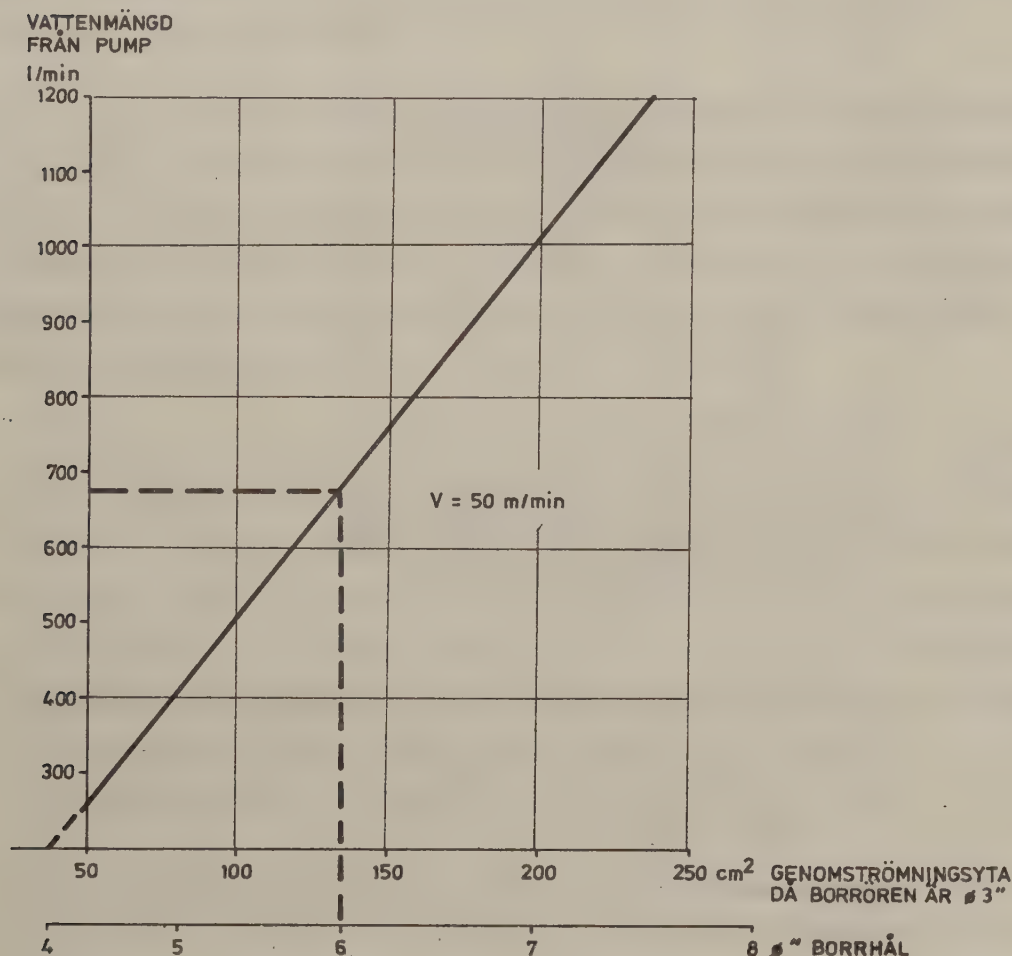
Differentialtryckets ("Differential pressure") inverkan på borrhastningen ("Drilling rate")

P_m = spolvätskepelarens hydrauliska tryck på hålbotten

P_f = formationstrycket på hålbottennivå
(Cunningham/Eenink 1959)

För att spolvätskan skall kunna lyfta och hålla borrhaxet i suspension under vägen upp till markytan, där det sen separeras, fordras att vätskan rör sig med viss hastighet i utrymmet mellan borrhålsvägg och borrhör. Den hastighet som kan rekommenderas ligger mellan 40 och 60 m per minut. Lägre hastighet gör att borrhaxet kan bli kvar i hålet med risk för spolförluster och hålkollaps. Högre hastighet medför ökad erosion och ökat slitage av bl a borrhör och munstycken. Beroende på genomströmningsytan mellan borrhör och borrhålsvägg måste hastigheten regleras med den spolmängd som via pumpen förs ned i hålet. Figur 4.32 visar mängdens beroende av ytan då hastigheten är 50 m per minut. Exempelvis bör man pumpa med en

vattenmängd motsvarande 600-700 liter/minut vid 6" borrarning med 3" borrhör. Figuren visar också direktspolningens begränsning mot större borrhördimensioner. Vid borrarning över 8" fordras en betydande pumpkapacitet som bara förekommer som standard på de största riggarna.



Figur 4.32 Diagram över förhållandet genomströmningssyta mellan borrhör och hålvägg samt erforderlig vattenmängd för att hastigheten skall bli 50 m/minut

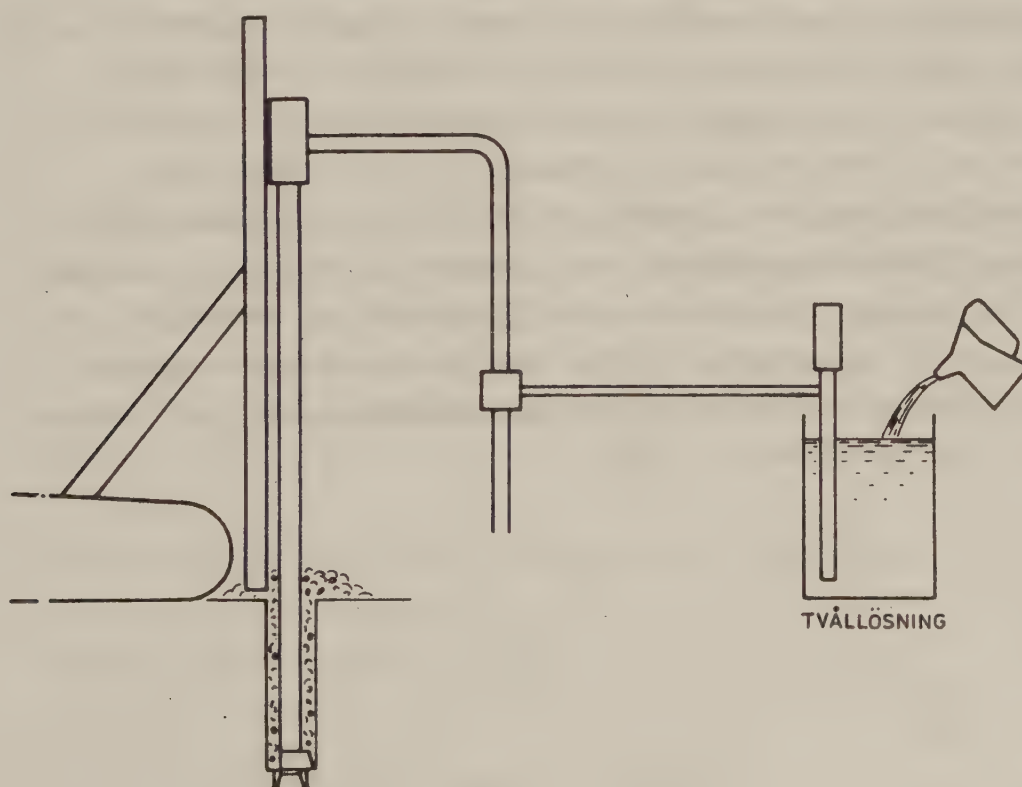
4.4.1.4 Luft och skum som spolmedie

Rotationsborrning med direktspolning kan - även om det är ovanligt i Sverige - genomföras med luft eller skum som alternativ till vatten eller mudd. Utrustningen som användes är i stort sett samma som vid direktspolning. Istället för pump användes en kompressor. Många rotationsborrurustningar är för-

sedda med både pump och kompressor, så att valfrihet föreligger.

Luft istället för vätska innebär i princip ett minskat tryck i borrhålet. Detta ger som positiv effekt en förhöjd borrsjunkning jämfört med vätskespolning. Vidare undviks spolförluster. Inte heller har man utgifter för muddkomponenter. Å andra sidan minskar möjligheten att kontrollera hålets stabilitet. För att kunna få upp kaxet måste också en avsevärd lufthastighet till (en minsta hastighet runt 1000 m per minut erfordras), vilket bl a innebär ett relativt sett stort slitage av borrhör och andra komponenter. Vätskans smörjande effekt går också förlorad.

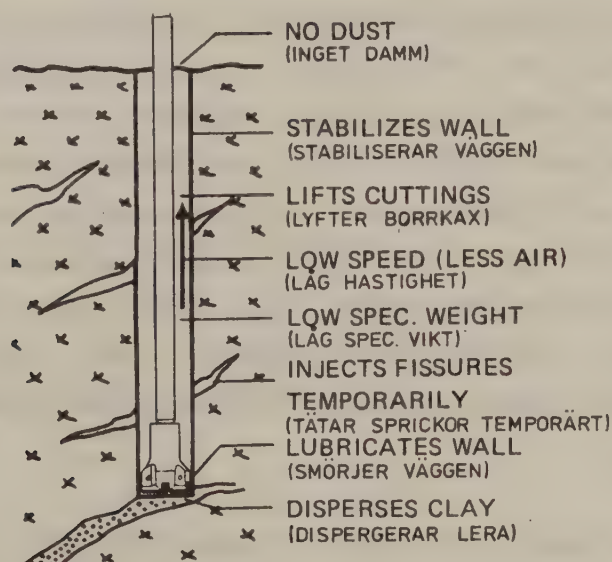
För att i någon mån motverka de negativa effekterna används ibland skum. Normalt rör det sig om tvålmedelskoncentrat som, blandat med vatten, injiceras och piskas till skum genom den turbulenta luftströmmens inverkan. Figur 4.33 visar ett exempel på arrangemang för skumtillsättning.



Figur 4.33

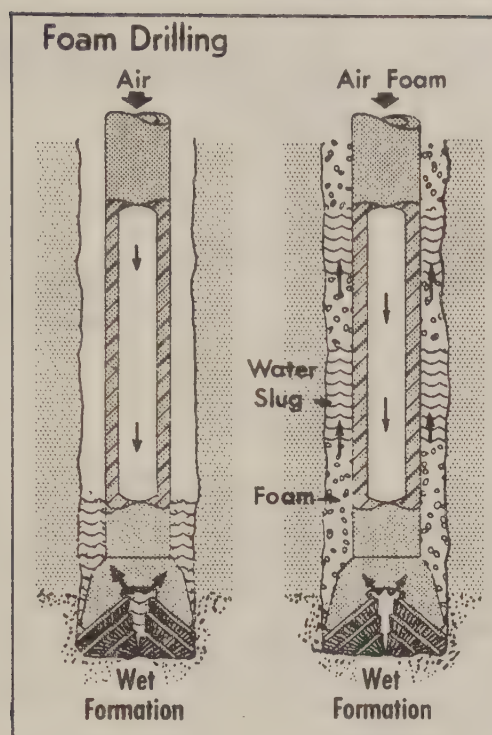
Anordning för skumvätskeinblandning vid borrar-
ning med luftspolning (Atlas Copco 1975)

Några av de fördelar som rent borrhningstekniskt kan vinnas genom skumtillsättning summeras i figur 4.34.



Figur 4.34 Några fördelar vid borrhning med skum som spolmedel (Tröften 1973)

Då endast luft användes uppstår ofta problem vid påträffande av vattenhållande jordlagerformationer. Särskilt besvärliga är vissa finkorniga jordarter som lera, silt och i viss mån finsand, vilka gärna flyter ut och pluggar hålet. Luften pressas då ut i formationen i stället för att rusa upp i utrymmet mellan vägg och borrhör, vilket bl a kan leda till hålkollaps. I bergformationer kan liknande problem uppstå om bergarten är dåligt konsoliderad. Tillsatsen av skum gör, se figur 4.35, att "pluggarna" lyfts och transporteras upp ur borrhålet, främst beroende på att skumblandningen har högre viskositet och densitet än luft.



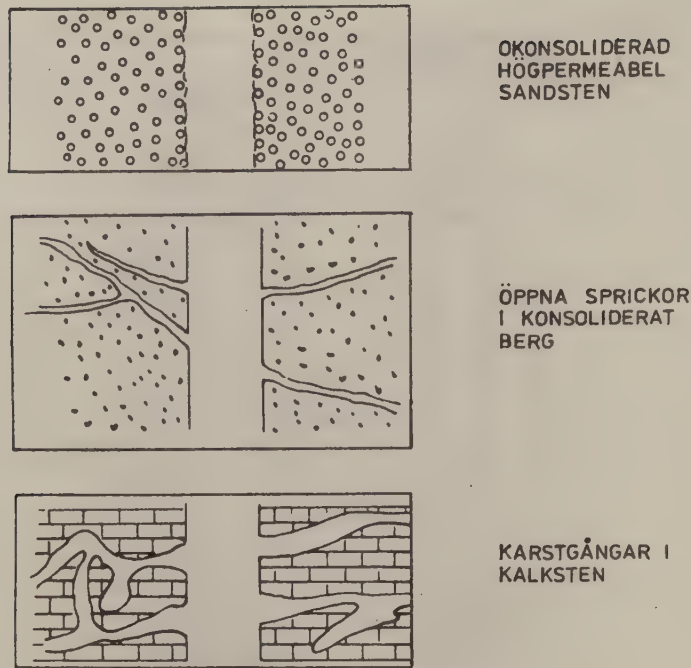
Figur 4.35

Skummets inverkan på lyftförmågan

De pluggar ("Water Slugs") som bildas vid borrhning i våta formationer ("Wet Formations") kan täppa till hålet vid luftspolning ("Air"). Med tillsats av skum ("Air Foam") lyfts pluggarna (Murray/Eckel 1961)

Luft/skumborrhning har sin största betydelse för borrhning i konsoliderade hårda sedimentära bergarter och då sådana som är genomslagna av stora öppna sprickor såsom kalkstenar med karstbildning. Över huvud taget är luft/skumborrhning lämpligt då svårbemästrade spolförlustproblem kan förväntas uppstå, se figur 4.36.

Rotationsborrhning med direktspolning har främst utvecklats för borrhning i sedimentära bergarter och metoden är optimal i de flesta typer av sand-, kalk- och skifferbergarter. Metoden har visat sig gångbar även i lösa jordlager. Dock medför borrhning i block- och stenrika jordlager vissa svårigheter. Löst lagrat och stembemängt grovkornigt åsmaterial är direkt olämpligt.



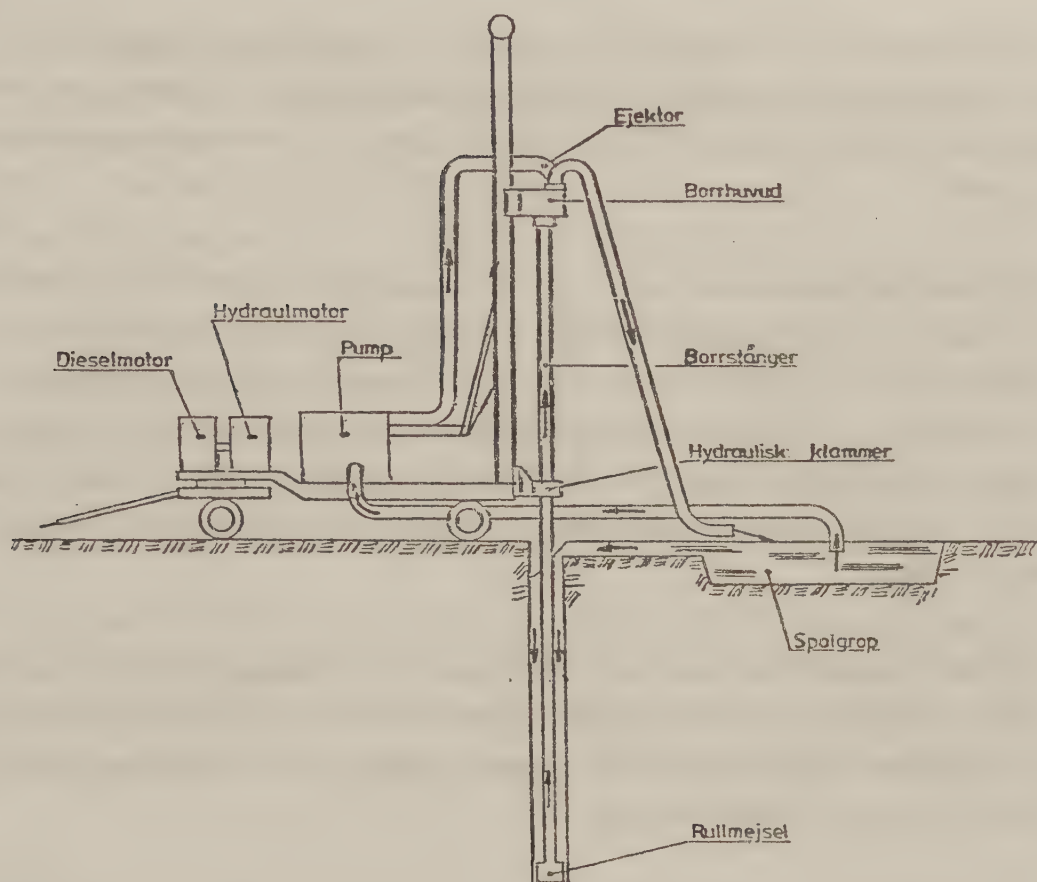
Figur 4.36 Några exempel på geologiska förhållanden då borrning med luft/skum är lämpligt (efter Howard/Scott 1951)

4.4.2 Rotationsborrning med omvänd spolning

Direktspolningens begränsning till borrning i relativt små dimensioner är huvudanledning till utveckling av den omvända spolningstekniken. Skillnaden gentemot direktspolning består främst i att flödespilarna är omvända, se figur 4.37 och jämför med figur 4. 22 (direktspolning). Vid omvänd spolning leds således vattnet eller mudden ner i hålet på borrhörens utsida och lyfts upp genom borrhören för att därifrån via borrhuvud och vattenleka föras ut i sedimentationsbassängen.

Då metoden utvecklades användes i princip samma utrustning som den för direktspolning. Man bytte helt enkelt ut borrhören till en något större dimension och så sattes slangen för kolvumpens sug sida till trycksidan och vice versa så att spolningen kunde sugas upp ur borrhöret och spolas ut i bassängen. Förvarandet brukar kallas sugbörning. Det begränsande med detta sätt att få upp spolvätskan är sughöjden, i praktiken inte mer än ca 4 meter, vilket utgör den maximala sughöjden efter en rörpåskärvning.

ROTATIONSBORRNING MED OMVÄND SPOLNING



Figur 4.37 Utrustning för rotationsborrning med omvänd spolning. Utrustningen är ofta monterad på lastbil (Malmbergs i Yngsjö AB, u å)

För att komma från denna begränsning används numera injektorpumpning i allt större omfattning. Genom att i borrhölen injektera tryckluft och eller en riktad vätskestråle lyfts spolningen upp genom rören. Ett mindre försörjningsrör sitter då fast på själva borrhölets yttersida och från detta leder munstycket in i borrhölet vanligen med 25-50 m mellanrum. Borrhölen är oftast 5-6" i diameter och skarvas med flänsar.

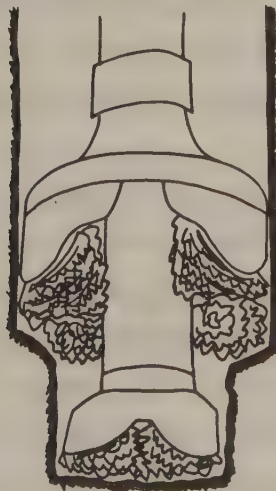
I övrigt föreligger samma behov av hålväggstabilisering som vid direktspolning. Användande av mudd som spolvätska är därför lika vanligt och fyller samma funktioner som tidigare

beskrivits. Också samma risker för hålkollaps föreligger då t ex en formation med stort hydrauliskt tryck påträffas under borrhningen.

Det omvända spolningsförfarandet tillgrips då man skall göra hål (vanligen brunnar) i stora dimensioner. Borrhning i dimensionen 50-60" är inte ovanligt, normalt rör det sig dock om 15-30".

För dimensioner upp till ca 20" används samma typ av borrhkronor som vid direktspolning. Munstyckena har dock ersatts av öppna hål så stora att också större kaxbitar kan passera. Vid borrhning i jordlager används ofta fingerkrona med fingerliknande blad som skrapar och luckrar upp jordmaterialet. Hålet till borrhret är då ofta så stort att även mindre stenar kan sugas upp.

Vid borrhning över ca 20" användes s k rymmarkronor, se figur 4.38, där den konventionella trerullskronan fungerar som pilotkrona. Sidorullarna rymmer sedan hålet successivt till den slutliga dimensionen.



Figur 4.38

Rymmarrullkrona för borrhning i stora dimensioner

Löst lagrade, sten- och blockförande jordlagerformationer ger de största borrarntekniska problemen. Den omvända spolningen användes sällan vid undersökningsbarring.

4.4.3 Diamantbarring

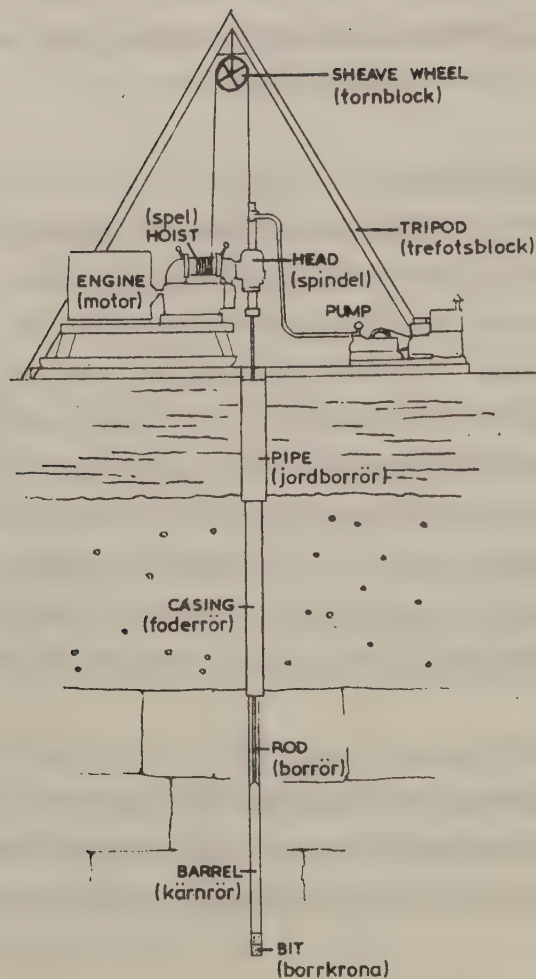
En variant av rotationsbarring med direktspolning är den s k "diamantbarringen", den verkliga aristokraten bland barringsmetoderna. Den anses så vara inte bara för att den började tillämpas för kanske 4 å 5000 år sedan (se kapitel 2) utan också för att metoden förknippas med stora ekonomiska värden. Redan detta att använda diamantförsedda borrhkronor ger en klang av högt värde, men dessutom tillkommer att metoden förknippas med prospektering av värdefulla malmer och mineral. Diamantbarring är också den metod man ofta tillgripit vid vetenskaplig geologisk provtagning och kartläggning.

Även om diamantbarringen indirekt står för "diamantkärnbarring", dvs för tagning av ostörda kärnprover, främst i hårt berg, nyttjas den i vissa sammanhang också för fullhålsbarring. Men det är som kärnbarringsmetod den skall beskrivas här.

Den klassiska uppställningen av borrhutrustningen framgår av figur 4.39. Liksom är fallet vid den tidigare beskrivna rotationsbarringen med direktspolning består de kraftöverförande momenten av tryck och rotation. På moderna utrustningar är båda dessa funktioner hydrauliskt drivna och steglöst reglerbara.

Det borrarntekniska förfarandet är i övrigt likartat. Borrhkronan roteras ned under visst matningstryck, samtidigt som en spolvätska rensar hålbotten och för upp borrhkaxet till markytan.

Beroende på att destruktjonen sker genom nötning, fordras dock ett betydligt mindre tryck på borrhkronan (vanligen mindre än 1000 kg) än vid krossande barring. Trycket skall dock vara tillräckligt för att mikroskjuvningar i hålbotten skall uppkomma, vilket är den verksamma destruktionsprocessen vid nötande barring, se avsnitt 3.4.2.

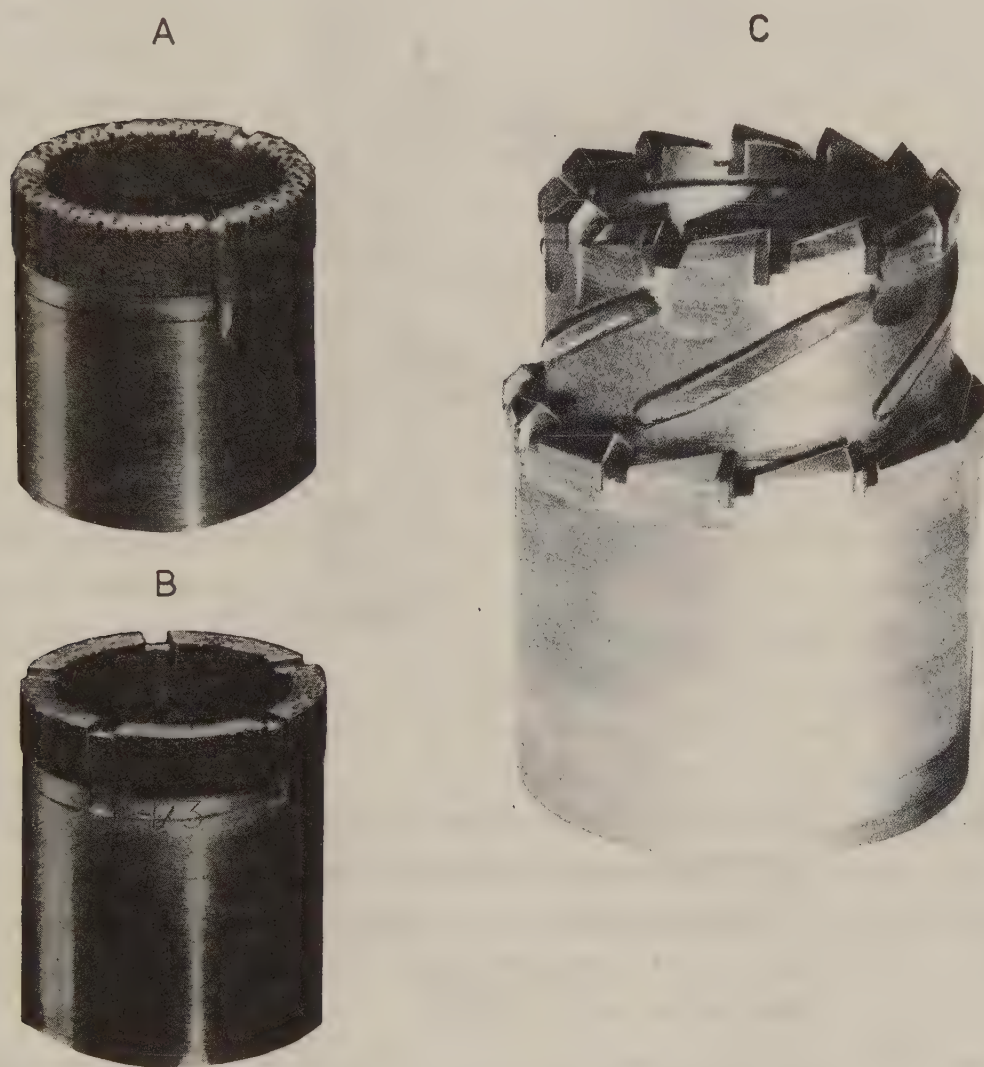


Figur 4.39 Utrustning för diamantborrning.
 Moderna utrustningar har vanligen bytt ut trefotsbocken mot en mast längs vilken borrhuvudet kan löpa (Mc Gregor 1967)

Det kax som produceras vid nötande borrhning är finkornigt. Samtidigt är också utrymmet mellan hålvägg och borrhör litet, varför spolpumpen inte behöver cirkulera särskilt stora spelmängder för att rensa hålbotten och transportera kaxet till markytan.

För att hålla en hög borrsjunkning är det fördelaktigt med en snabb rotationshastighet. Utrustningar finns med hastigheter på uppemot 3000 varv/minut. Däremot behöver vridmomentet (den vridande kraften) inte vara särskilt stor eftersom trycket på borrhkronan hålls relativt lågt.

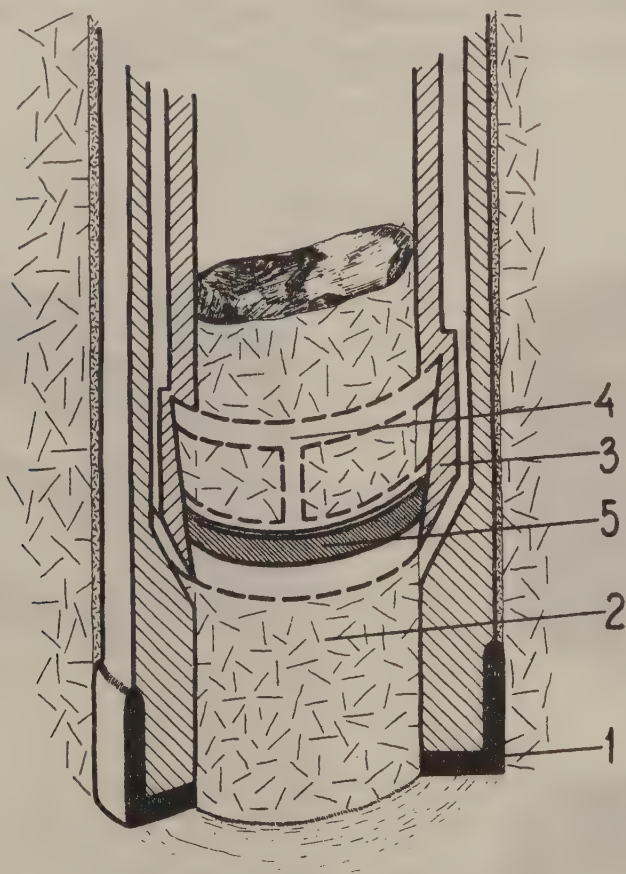
Nere-i-hålet-utrustningen består av ett enkelt-eller dubbel-mantlat kärntubbrör vars nedre ända försetts med en ringborrkrona. Denna är antingen diamantsatt eller också försedd med infästa stycken av hårdmetall. Den skärande ytan kan också bestå av sintrat pulver som innehåller diamant eller hårdmetallspån. Figur 4.40 visar några vanliga borrhkronetyper. Diamantborrningen utförs enligt standard i små dimensioner med kronor som vanligen varierar mellan 1½ och 3".



Figur 4.40

Några vanliga borrhkronor för diamantborrning. (A) Diamantsatt krona och (B) diamantimpregnerad krona för borrhning i hårda eller abrasiva bergarter med snabb rotation. (C) Hårdmetallkrona för mjukare bergarter och långsam rotation (efter Atlas Copco, Craelius, broschyr u å)

Den kärna som successivt matas in i kärnröret bryts efter färdig kärnlängd och hålls kvar i röret med hjälp av en kärnfångarhylsa. Mekanismen för detta moment framgår av figur 4.41.



Figur 4.41

Principen för kärnbrytning och fastlåsning vid kärnbörning med dubbelmantlat kärnrör
 1) Diamantkrona, 2) kärna, 3) koniska styrningar, 4) fångarhylsa, 5) lyftarring
 (Morfeldt et al 1973)

Då berget är uppsprucket fungerar inte alltid kärnfångarhylsan, varvid delar av eller hela kärnlängden går förlorad vid upptagningen, s k kärnförlust. Detta utgör ett ur dokumentationssynpunkt stort problem, eftersom kartläggningen av just krosszoner och andra svaghetszoner i berget kan vara det som föranleder börningen. Det kan i sådana sammanhang vara av vikt att tillförsäkra sig såväl kaxprover som data över borrh-

sjunkning, spolförluster och andra borrhingsparametrar, se vidare kapitel 6 och 7.

Ett vanligt borrhningstekniskt problem är att s k snedborrning (devierade hål) lätt kan uppträda främst vid större borrhingsdjup. Ofta är snedborrningen betingad av geologiska strukturer (se bl a figur 4.12), men diamantborrtrusningens klana borrhör kombinerat med toppmatning ökar risken för snedbelastning på hålbotten. Genom att använda sig av hålcenraliserade don som sätts på borrhören minskar risken. Sneda hål kan också detekteras med hjälp av deviationsmätande instrument. Görs detta med jämna mellanrum under borrhningen kan man med särskild nere-i-hålet-utrustning vinkla tillbaka hålet. Man kan också avsiktligt få det att vinkla av i viss bestämd riktning.

4.4.4 Skruv- och augerborrning

I Sverige har vi sedan länge använt oss av skruvborrning för att ta prover av de övre jordlagren. Detta kan göras för hand med s k handskruvborr, vilket för övrigt är den jordartskarterande geologens viktigaste verktyg. Med handskruvborr når man dock knappast större djup än ca 1 m. För att komma djupare krävs ett större vridmoment än vad den mänskliga armen förmår åstadkomma. Framför allt behövs domkraft för uppdragningen av skruven. Mindre handburna utrustningar hittar man främst inom den geotekniska fältundersökningstekniken. På senare år har man också börjat använda bandvagnar eller andra terränggående fordon för bl a skruvprovtagning, men vanligen också för statisk sondering och vissa in situ-mätningar, exempelvis vingborrning.

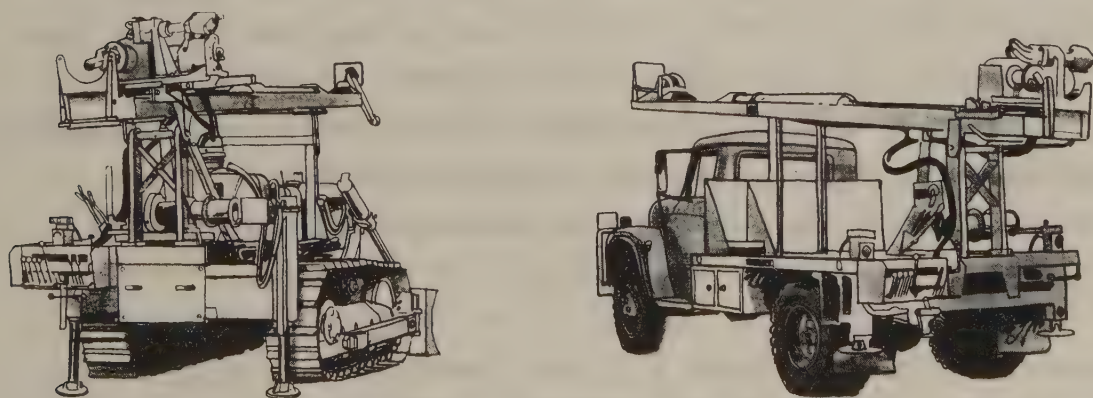
Skruvborrning görs normalt i liten dimension och till ringa djup med skruvar $\varnothing$ 25-90 mm. Hålen är oftast inte djupare än 10 å 15 m.

Skruvborrning i större skala och med särskilt konstruerade maskiner benämnes normalt augerborrning (efter engelsk terminologi). Vid skruvborrning dras alltid skruven rakt upp, varvid den utskurna spiralen skjivas av längs skruvens geo-

metrisk cylinder, se figur 3.6. Samma är förfarandet vid den s k intermittenta augerborrningen, bara med den skillnaden att den geometriska cylindern är större, vanligen från $\emptyset$ 2" och uppåt. Samtidigt är den också längre eftersom augerborren oftast har skruvflänsar på hela borrhörs längden. Den kraft som erfordras för brott blir således större och växer direkt proportionellt med ökad dimension och skruvlängd. Detsamma gäller vridmomentet, varför de utrustningar som konstruerats för augerborrning har stor lyftkapacitet och stort vridmoment. Rotationshastigheten är däremot liten.

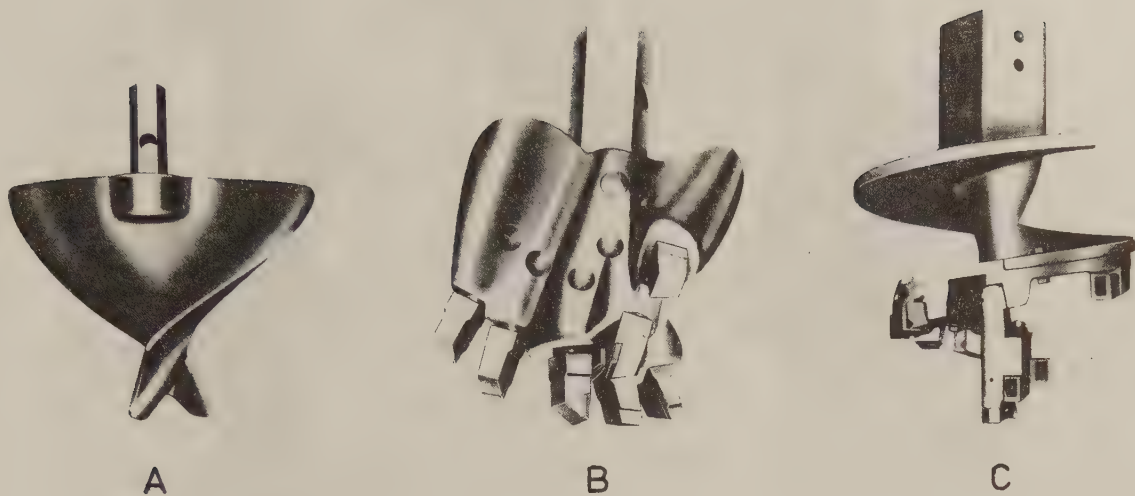
Eftersom vrid- och lyftmomenten kan bli maskinerna övermäktiga har det utvecklats augerskruvar som successivt, allt eftersom håltagningen sker, skjuvar loss och matar upp kaxet mellan flänsarna. Denna metod benämnes kontinuerlig augerborrning.

De maskiner som används är av olika storlek och utformning, men liknar mycket andra utrustningar för rotationsborrning och många av dessa kan också användas för augerborrning. Figur 4.42 exemplifierar ett par typutföranden. Omvänt kan augerborrmaskinerna oftast också användas för andra former av rotationsborrning.



Figur 4.42

Ett par exempel på borrhägar för augerborrning (Mobil Drill, broschyr u å)



Figur 4.43 Spets- och borrhkronor för augerborrning

(A) Spiralvriden spets för mjuka formationer

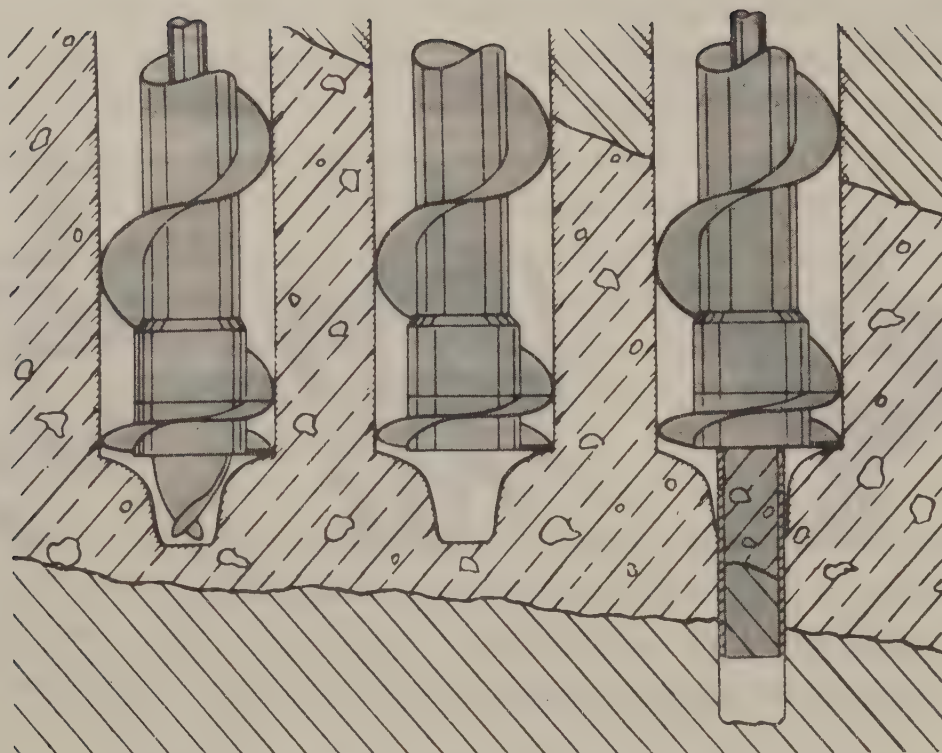
(B) Fingerkrona med skärande egg för medelhårda formationer

(C) Skärkrona för hårdare formationer

(Atlas Copco, broschyr u å)

Augerstängen är vanligen försedd med spiralvriden spets, men för kontinuerlig augerborrning i hårdare formationer finns olika typer av utbytbara skärande borrhkronor, figur 4.43.

Genom att använda ihåliga augerstänger och spets eller krona med genomgående kanal kan vid behov spolning tillgripas. Detta sker dock inte normalt under själva borrhningen, utan om problem uppstår med kaxuppmatningen eller om hålet behöver stabiliseras. Användandet av ihåliga stänger ger också möjlighet till skostörd provtagning närhelst under borrhningen, se figur 4.44.

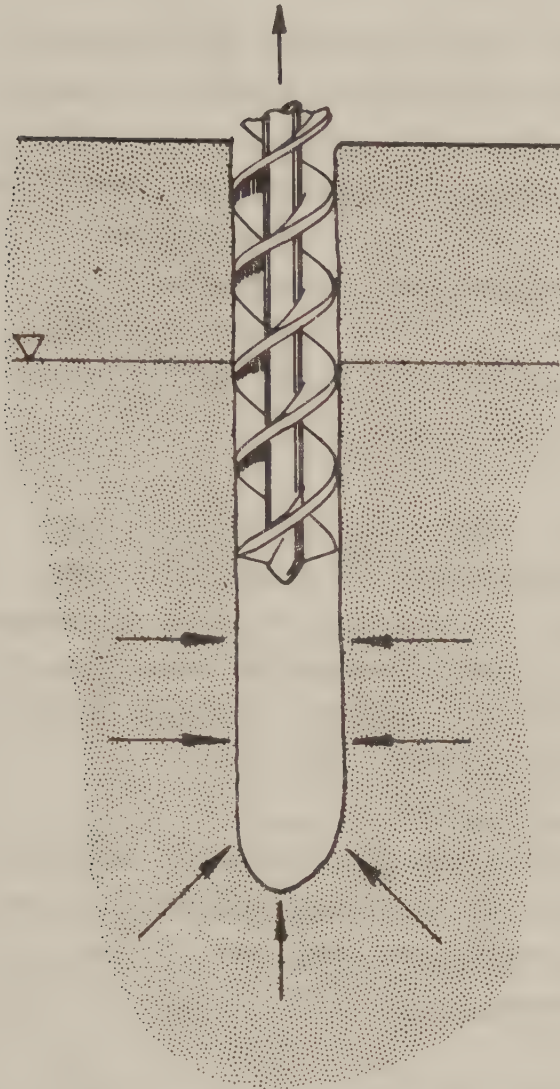


Figur 4.44 Ostörd provtagning vid augerborrning. Vid önskat provtagningsdjup dras spetsen upp och en provtagare förs ned och stansar ut ett prov (Atlas Copco, broschyr u å)

Augerborrning är möjlig i nästan alla geologiska formationer av sedimentärt ursprung. Steniga och blockrika jordar utgör dock en starkt begränsande faktor. Mer speciellt för just augerborrning är de problem som uppstår vid borrrning under grundvattennivån. Genom flytbenägna eller lösa grövre vattenförande sediment fungerar inte den kontinuerliga uppmatningen. Som tidigare nämnts kan visserligen hålet stabiliseras med mudd, men detta har oftast bara en tillfällig verkan. Vid uppdragning kollapsar i regel hålet på grund av att det inte stabiliserats. Dessutom bildas, om inte fri genomgång finns, ett vakuum under stängen som förstärker tendensen till hållkollaps, figur 4.45.

Augerborrningen är trots ovan anförda problem mycket vanlig utomlands. I Sverige har inte metoden vunnit någon större marknad även om den i vissa fall kommit till bruk både för provtagning och som håltagningsmetod. En bidragande orsak till

det ringa användandet i Sverige torde vara att metoden är direkt olämplig för borrhning i morän eller stenigt åsmaterial.



Figur 4.45 Hålkollaps vid uppdragning på grund av undersug och hydrauliskt tryck mot hålet under grundvattennivån (Pauls 1975)

4.5 Rördrivningsmetoder

Ett gammalt och beprövat sätt att göra hål i marken är att slå eller stöta ned någon form av långsmalt och spetsigt don. Vi känner alla till hur man t ex för hand kan spetta ett hål eller slå ned en påle i marken med slägga. För att denna håltagningsmetod skall fungera krävs att jordlagren är löst lagrade och således kan trängas åt sidan och lämna utrymme för hålet.

Metoden har sin största tillämpning inom grundläggningstekniken där den används vid bl a pålning och spontning. Vidare spelar den en stor roll vid geoteknisk fältundersökning där den bl a används för att mäta "undanträngningsmotståndet" vid

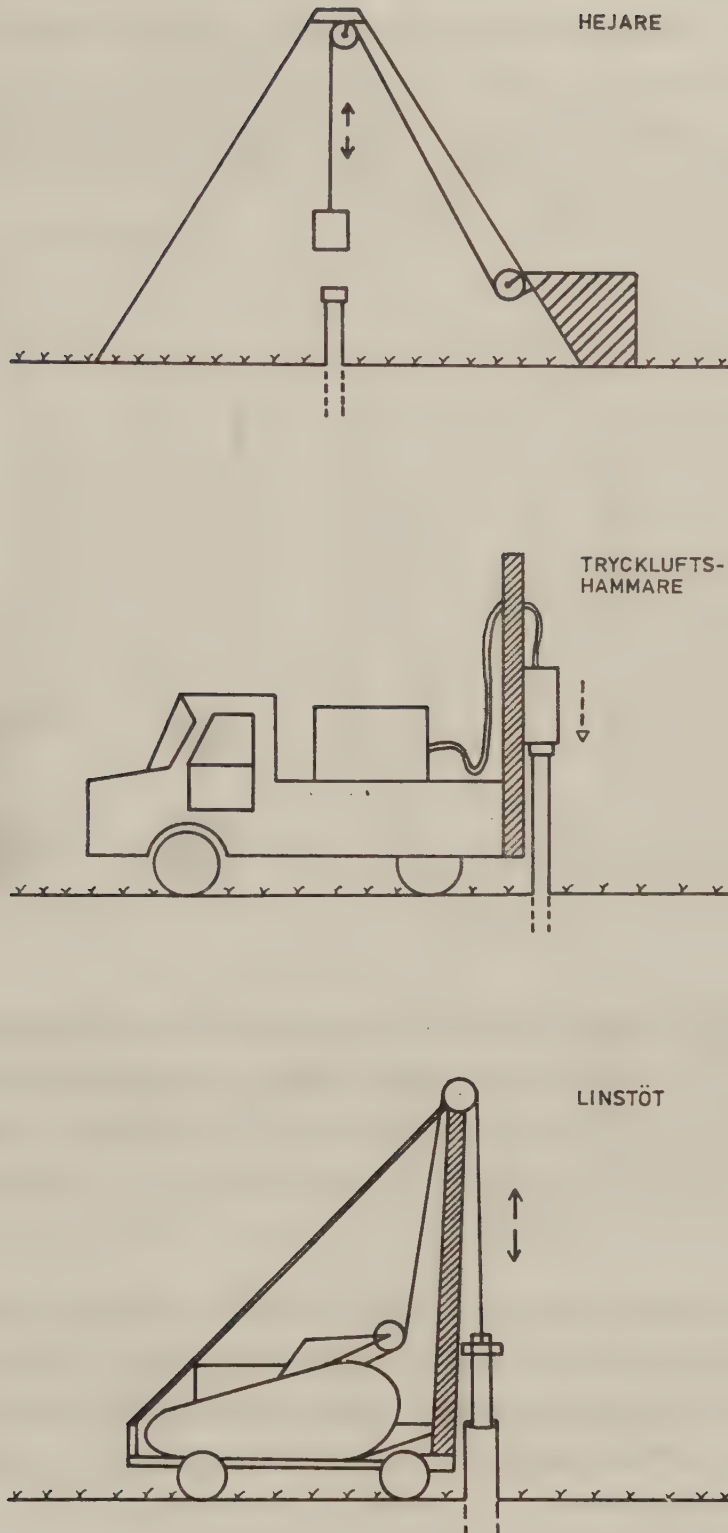
sondering och ger då ett relativt mått på jordens hållfasthetsegenskaper.

I modifierad form har det slående undanträngande håltagningsförfarandet fått betydelse också som borrhningsmetod vid rekognoserings- och undersökningsborrning. Två typer av speciella utrustningar förekommer. Den enklaste och vanligaste består av en fristående s k hejarbock, ursprungligen en geoteknisk utrustning som används vid hejarsondering. En tyngd eller hejare, som lyfts och sedan fritt får falla ned på rörändan står för den slagenergi som behövs för att driva ner röret. Hejaren drivs vanligen med motor, se figur 4.46.

Under de sista ca 20 åren har det blivit allt vanligare att övergå från hejare till tryckluftshammare. I samband härmed har hela utrustningen eller delar av den monterats på terränggående fordon. Eftersom sådana utrustningsenheter inte finns i standardutföranden är de också av skiftande utformning. Figur 4.46 ger dock en uppfattning om hur de ser ut.

Vid sidan av dessa speciella rördrivningsutrustningar används ibland linstötmaskiner. Det gäller då vanligen drivning av rör i stor dimension och uteslutande med öppen rörända. Detta brukar vanligen benämnas rörborrning.

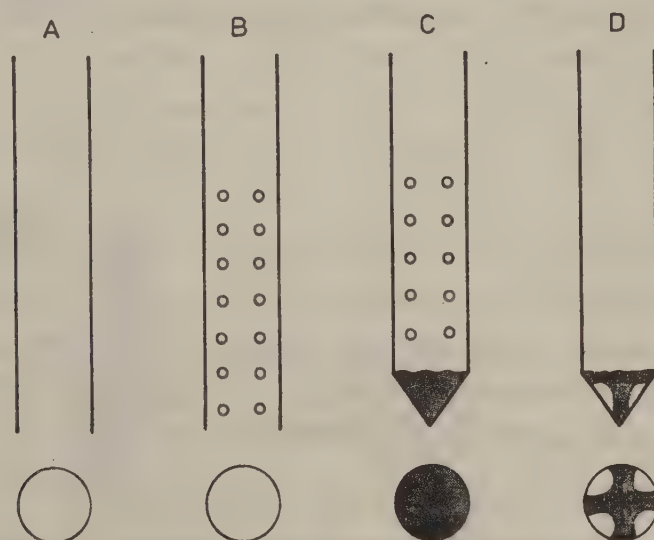
Rördrivning med hejare eller tryckluftshammare är normalt begränsat till 3" uppåt och 1½" nedåt i dimension.



Figur 4.46

Några vanliga typer av rördrivningsutrustningar

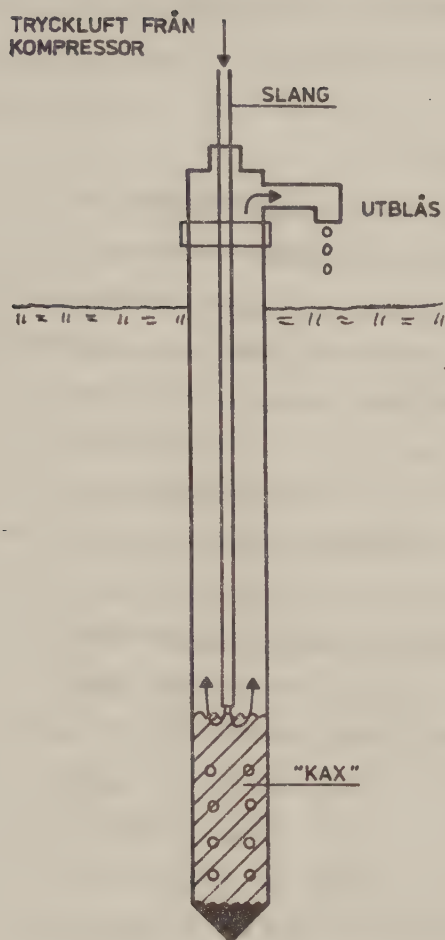
Beroende på främst ändamålet med rördrivningen, men också geologiska förhållanden samt olika erfarenheter har spetsen och nedre delen av röret olika utformning. Den varierar från att vara en helt sluten och spetsformad rörända med perforerad nedre rörvägg till en helt öppen rörbotten med eller utan perforering, se figur 4.47.



Figur 4.47 Några olika utformningar av rörets nedre del. (A) Öppet rör, (B) öppet rör med perforerad nederända, (C) sluten spets med perforerad nederända samt (D) hålförsedd spets ("krysspets")

Vanligast vid rekognoseringsborrning är att driva rör med sluten spets och perforerad nederdel. Detta förfaringssätt innebär att jordmaterialet först trängs åt sidan av spetsen och sedan tillåts att tränga in genom hålen i röret så som figur 4.48 visar.

Materialet i röret kan sedan hämtas upp med skruv, skopa eller liknande eller också spolas upp. Det vanligaste är att spola upp materialet med tryckluft, men också vattenspolning används



Figur 4.48 Rörrensning med tryckluft

ofta, särskilt vid drivning av öppet rör. Vattenspolningen har klara fördelar jämfört med luft då röret drivs genom sedimentär lera, vilken tenderar kleta fast i röret. För effektiv rörrensning fordras därför jetspolning med vatten eller luft och vatten (s k dimmspolning).

Rördrivningen är begränsad till jordlager med ringa block- och stenhalt och till djup av maximalt 40 å 50 meter. Metoden är utvecklad att användas främst för rekognocerings- och provtagningsbörning i samband med grundvattenprospektering, men används också vid exempelvis grustäktsundersökningar.

En fördel med neddrivna perforerade (och/eller öppna rör) är att de efter börningen kan stå kvar och tjänstgöra som s k observationsrör för mätning av grundvattenstånd eller för tagning av vattenprov.

5 DEN TUNGA BORRNINGEN I SVERIGE ÅREN 1966-1976
RESULTAT AV ENKÄTUNDERSÖKNING

5.1 Bakgrund och frågeställningar

Den som på ett eller annat sätt arbetar med borrning och borrhningsresultat har kunnat märka att den svenska tunga borrhningsbranschen under senare år genomgått en markant förändring. Allt snabbare och effektivare borrhmaskiner och borrhningsmetoder har introducerats på marknaden. Resultatet har blivit att den svenska tunga borrhningen under en 10-15-årsperiod till stor del bytt karaktär. Från att ha dominerats av långsamma väl beprövade metoder med en kapacitet på några hundratal borrhmetrar per maskin och år, karaktäriseras marknaden numera av snabborrhande aggregat som klarar tiotusentals borrhmetrar per år. Denna utveckling har bl a inneburit att endast verkligt initierade fackmänniskor idag känner till den tunga borrhningsbranschens kvantitativa och kvalitativa resurser.

En viktig sida av den svenska borrhningsverksamheten är att ta till vara på den information om jord-och berglagrens sammansättning och egenskaper som varje borrhningstillfälle medför. Detta är något som bl a landets brunnsborrare fått erfara genom en lagstiftad uppgiftsskyldighet vid brunnsborrning m m (SFS 1975:424).

Den ökade snabbheten vid borrhningen gör emellertid att dokumentationen (dvs provtagning m m) blivit ett allt mer krävande moment för borrharen. Vid vissa borrhningsförfaranden är det rent av svårt eller på gränsen till omöjligt att samla prover och andra data samtidigt som borrhningen fortskrider. Dessa förhållanden är speciellt beaktningssvärda i sådana fall där själva syftet med borrhningen är att undersöka jord- och berglagrens egenskaper, s k undersökningsborrning.

Detta är något av bakgrunden till det projekt med titeln "dokumentationsteknik vid undersökningsborrning med tyngre utrustning", som jag sen några år tillbaka drivit med medel

från Styrelsen för Teknisk Utveckling (STU) och som bl a resulterade i en enkätundersökning av den tunga borrhningsverksamheten.

Enkätresultaten har sedan bildat underlag för bl a en studie över förutsättningarna att samla information över jord- och berglagrens uppbyggnad, sammansättning och egenskaper under borrhningens gång, samt slutligen legat till grund för utveckling av instrument för sådan datainsamling.

De frågeställningar som avsågs bli besvarade med enkätundersökningen var i huvudsak följande:

- vilka typer av tyngre borrhutrustningar finns på marknaden, vilka tekniska prestanda besitter dessa, samt vilken borrhningsmetod (teknik) representerar de?
- vilken eller vilka utrustningstyper har under perioden 1966-1976 minskat respektive ökat i antal och beläggning?
- vilka huvudsakliga användningsområden har de olika utrustningarna avseende borrhningsändamål?
- vilken provtagningsteknik och annan registrering förekommer idag och i vilken omfattning?
- i vilka jord- och berglager används olika borrhningsmetoder och vilken borrhningsteknisk svårighetsgrad föreligger i olika formationer?

Indirekt skulle också enkätsvaren anvisa vilka utvecklingsmöjligheter som föreligger att metodiskt införa, eller om det redan förekommer, förbättra provtagning av jord- och berglager, teknik att mäta borrhjunkning, spolförluster och andra s k borrhningsparametrar, vilka kan registreras under borrhningens gång.

5.2 Utformning, genomförande och bearbetning

På grundval av ovan relaterade frågeställningar upprättades ett frågeformulär bestående av en allmän del (formulär 1) och en speciell del (formulär 2), se bilagan. Formulären utsändes, efter provomgång, till åtta olika målgrupper, nämligen (målgruppsförkortning som används i figurer och tabeller inom parentes)

1. Brunnsborrningsfirmor och liknande, 286 st (BRU)
2. Konsultfirmor med hydrogeologisk/byggnadsgeologisk/geoteknisk verksamhet, 30 st (KON)
3. Vissa statliga verk, institut, förvaltningar samt vissa andra organisationer, industrier etc med förväntad borrhningsverksamhet på programmet, 36 st (STA)
4. Större (>50 000 inv) kommuners gatukontor eller motsvarande, 35 st (KOM)
5. Medlemmar av Svenska Gruvföreningen, 61 st (GRU)
6. Medlemmar av Grus- och Makadamföreningen, 65 st (MAK)
7. Ledamöter av Svenska Byggnadsentreprenadföreningens Bergforskningsgrupp, 16 st (BYG)
8. Geologiska/geotekniska institutioner eller avdelningar vid universitet och högskolor, 14 st (UNI)

Den klassificering av metoder och den terminologi som valdes vid frågeformulärens disposition och utformning återspeglar främst borrhningsbranschens eget språkbruk. Endast tre huvudgrupper av metoder urskiljdes, nämligen linstötborrning, rotationsborrning och rödrivning.

Huvudanledningen till att inte indela rotationsborrningen som alltså också inkluderar hammarborrning i flera huvudrubriker var att med frågor avseende de roterande maskinernas funktion och användningsområde skapa grund för en senare metodisk indelning.

Rödrivningen särskiljdes som egen huvudgrupp främst beroende på att denna utgör en viktig metod vid undersökningsborrning i

jordlager, se avsnitt 6.5. Flera av de som svarat har ansett rörborrning med linstötmaskiner höra till denna metod. I den statistiska bearbetningen har dock dessa svar kunnat bortskiljas och rödrivningen med den definition som avsetts i enkäten därmed kunnat renodlas.

I övrigt var målsättningen att utforma enkäten så att den skulle bli så lätt som möjligt att besvara med enkla siffror eller kryss i ruta, vilket också skulle underlätta svarens statistiska bearbetning.

Frågeformulären utsändes under februari månad 1977, med åtta veckors svarstid. På grund av låg svarsfrekvens för flertalet målgrupper efter utgången svarstid, utsändes ett påminnelsebrev med tre veckors förnyad svarstid. Då svarsfrekvensen hos målgrupp 1 efter påminnelsen fortfarande var otillfredsställande låg (23,8 %) utfördes under maj månad en kompletterande telefonintervju med ett antal slumpvis utvalda representanter för denna grupp så att underlaget för den statistiska bearbetningen höjdes till 35,6 % brukbara svar.

De erhållna svaren har, såsom angivits i följbreven till frågeformulären, behandlats strikt konfidentiellt, så tillvida att uppgifterna skilts från uppgiftslämnarna efter avprickning på utsändningslista. I några fall togs telefonkontakt för komplettering av svaren innan avskiljning.

Antalet utsända formulär för de olika målgrupperna respektive antalet inkomna formulär vilka efter utsällning av obrukbara svar "åter avsändare" etc, ingår i den statistiska bearbetningen framgår av tabell 5.1.

Målgrupp	Antal utsända formulär	Ej svarat		Obrukbara, åter avs etc		Kvar för statistisk bearbetning	
		Antal	%-andel	Antal	%-andel	Antal	%-andel
BRU	286	165	57,8	19	6,6	102	35,7
KON	30	6	20,0	1	3,3	23	76,7
STA	36	7	19,4	-	-	29	80,6
KOM	35	10	28,6	3	8,5	22	62,9
GRU	61	21	34,4	7	11,5	33	54,1
MAK	65	39	60,0	2	3,1	24	36,9
BYG	16	4	25,0	-	-	12	75,0
UNI	14	1	7,1	-	-	13	92,9
Totalt	543	253	46,6	32	5,9	258	47,5

Tabell 5.1 Svarsfrekvens. Statistiskt underlag. (För målgruppsförkortningarnas innebörd, se sid 122)

Där prognosvärden framräknats gällande för en enskild målgrupp har detta skett med en statistiskt framtagna normalfaktor. Sålunda har för målgrupp 2 (KON) en faktor 1,304 ($76,7 \times 1,304 = 100$ %) använts för kvantitativa beräkningar, exempelvis det totala antalet linstötmaskiner för hela gruppen. Undantag från detta förfarande utgör målgrupp 1 (BRU), för vilken normalfaktorn reducerats. Detta beror på att i stort sett samtliga "stora" borrhingsfirmor har svarat, dvs sådana som har ett stort antal maskiner, vilket om den statistiska normalfaktorn använts skulle gett för stora siffror vid de kvantitativa beräkningarna. I stället har antagits att de 165 st som ej svarat utgör s k enskilda brunnsborraren med en eller högst två maskiner, men att de representerar samma fördelning på maskintyper som de som svarat. Den faktor som framräknats för målgrupp 1 har på dessa grunder blivit 2,196 istället för 2,809.

Tabell 5.2 visar hur stor del av varje målgrupp som är eller har någon gång under åren 1966-1976 varit innehavare av en

eller flera tunga borrhutrustningar enligt den definition som angetts i frågeformulär 1, punkt 2, se bilagan..

MÅL- GRUPP	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI
	92,1	52,2	20,7	27,3	21,2	25,0	33,3	30,8

Tabell 5.2 Procentandel innehavare av tung borrhutrustning någon gång under åren 1966-1976

Man skulle förväntat sig att målgrupp 1 (BRU) skulle vara till 100 % innehavare av tung borrhutrustning. De 7,5 % som inte har (eller 1966 hade) utrustning består emellertid av "brunnsgrävare", "slagrutemän", etc samt sådana som lagt ned verksamheten före 1966, men som ändå står med i postverkets adressregister över brunnsborrare, vilket låg till grund för utskändelsen.

Det antal svar som använts vid den statistiska bearbetningen av direkta frågor över maskinparkens sammansättning, användningsområden etc (kvalitativa frågor) blev efter reducering av de som inte angav sig vara innehavare av utrustning begränsat enligt tabell 5.3.

MÅL- GRUPP	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI
	94	12	6	6	7	6	4	4

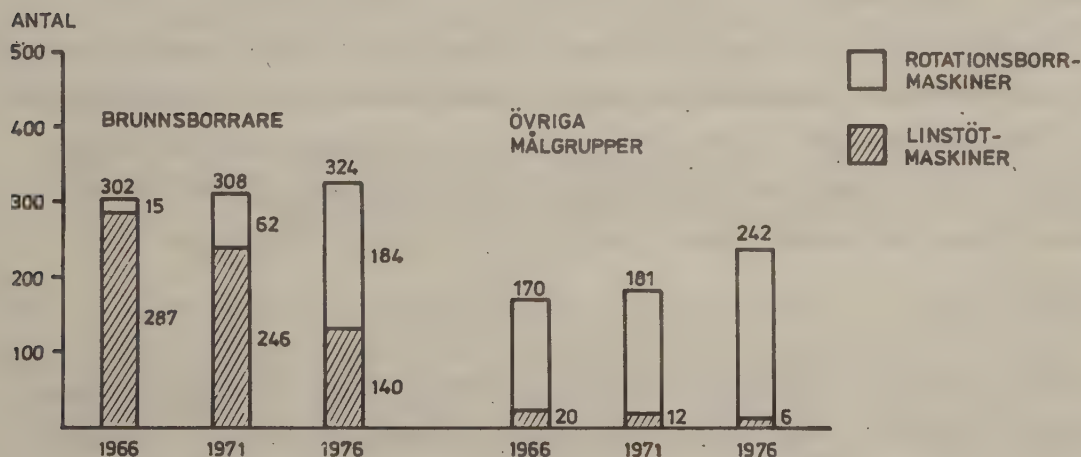
Tabell 5.3 Antalet svar som bildat underlag för statistisk bearbetning av frågeformulärens kvalitativa frågor.

Det relativt låga antalet svar inom de sex sista målgrupperna innebär att de nedan redovisade resultaten inte kan anses statistiskt tillförlitliga. Trots detta bör de ge riktiga storleksordningar och tendenser varför jag valt att ha med dem i redovisningen.

5.3 Resultat i sammanfattning

5.3.1 Maskinparkens förändring 1966-1976

Det har under senare år varit ett känt faktum att den relativt långsamma linstötbormaskinen fått ge vika för avsevärt mer snabbborrande rotationsbormaskiner av olika typer. Hur snabbt denna "strukturomvandling" gått framgår av figur 5.1.



Figur 5.1 Maskinparkens förändring under åren 1966-1976

Den största förändringen av maskinparken kan tillskrivas brunnsborrarna som mer än halverat antalet linstötmaskiner under 10-årsperioden och ersatt dessa med rotationsbormaskiner.

Övriga målgrupper visar också en nedgång av linstötmaskiner. Samtidigt har det totala antalet borrhningsaggregat ökat 1971-1976. Detta beror till hög grad på att gruvindustrin nästan fördubblade sin maskinpark under denna period och att också vissa statliga verk skaffade ett större antal utrust-

ningar. Det enda undantaget från en tillväxt av maskinparken är medlemmarna i Grus- och Makadamföreningen (MAK) som minskat något, se tabell 5.4.

ANTAL UTRUSTN	MÅLGRUPP BRU KON STA KOM GRU MAK BYG UNI								TOTALT
1966	15	29	29	6	44	35	7	-	165
1971	62	35	32	10	47	33	12	-	231
1976	184	36	53	13	84	29	20	1	420

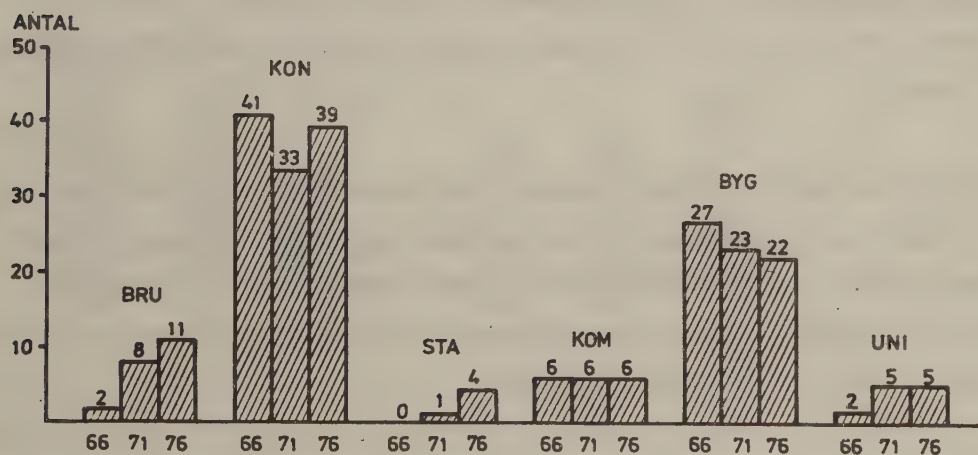
Tabell 5.4 Antalet rotationsborrmaskiner fördelat på målgrupper och år

Rotationsborrmaskinernas snabba intåg på främst brunnsbörningsmarknaden har naturligtvis flera förklaringar. Jag vill här anföra tre som jag tror betydelsefulla faktorer som bäddat för förändringen.

- Arbetsslönekostnad/borrad meter har avsevärt kunnat reduceras i och med införandet av snabba hydrauldrivna rotationsmaskiner. Ett borrhål som tar flera veckor, ibland månader, i anspråk med linstötborrning kan utföras på ett par dagar med rotationsbörning.
- Sett i stort har efterfrågan på börning successivt ökat i takt med den allmänna ekonomiska tillväxten i landet under 60-talets senare hälft och 70-talets inledning. Trots en avmattnings i samhällsekonomin härefter har efterfrågan, i vart fall avseende brunnsbörning, hållt i sig eller ytterligare stärkts till följd av det varma och torra klimatet under 70-talets första hälft och med en kulmination 1976.
- Den gynnsamma samhällsekonomiska konjunkturen, liksom det för brunnsbörarna gynnsamma klimatet sammanföll med en marknadsintroduktion av nytvecklade högeffektiva börutrustningar (och metoder) av både nationellt och internationellt ursprung.

Den strukturella förändringen inom brunnsborrningen fortsatte ytterligare något år efter 1976. Därefter har branschen befunnit sig i en lågkonjunktur, vilket gjort att antalet bormaskiner idag är i samma storleksordning som 1976, dock med den skillnaden att antalet linstötutrustningar ytterligare reducerats något (muntliga meddelanden från diverse borrhnings-entreprenörer).

Som väntat är det konsultbranschen som har de flesta utrustningarna för rördrivning. Här avses då sådana utrustningar som enbart används för neddrivning av rör i mindre dimensioner och för undersökningsändamål. Linstötmaskiner som i och för sig kan användas för rördrivning är således undantagna. Figur 5.2 visar det totala antalet utrustningar inom respektive målgrupper och hur antalet förändrats under åren 1966-1976.



Figur 5.2 Antalet utrustningar för rördrivning inom resp målgrupper och antalets förändring mellan åren 1966 och 1976. Gruv- och stenindustrin (GRU-MAK) saknar rördrivningsutrustningar

Det förvånansvärt stora antalet utrustningar bland byggnadsentreprenörerna (BYG) förklaras av att dessa främst kommer till användning för andra ändamål än undersökningsborrning, bl a grundvattensänkning i samband med schakt- och grundläggningsarbeten.

5.3.2 Rotationsborrtrusningarnas fördelning på funktion och borrhingsmetod

Av särskilt intresse var att se hur den stora gruppen rotationsborrningsutrustningar fördelar sig på maskinella funktioner samt vilka vedertagna borrhingsmetoder de representerar.

BORRN TEKNIK	MÅLGRUPP							
	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI
A	37	45	56	33	29	83	87	100
B	8	-	37	-	-	-	-	-
C	88	85	47	100	27	91	80	100
D	12	4	54	11	55	7	27	100
E	17	17	2	11	-	-	-	-
F	9	8	2	-	-	-	-	-

Tabell 5.5 Procentandel av maskinerna 1976 som kan användas för

- (A) rotationsborrning med direktspolning
- (B) rotationsborrning med omvänd spolning
- (C) tryckluftsborrning/hammarborrning
- (D) kärnborrning
- (E) augerborrning
- (F) annat

FUNKTION	MÅLGRUPP							
	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI
A	13	7	54	11	73	41	67	100
B	17	89	40	89	23	83	27	-
C	78	9	7	11	4	35	67	100
D	1	-	-	-	-	-	-	-
E	2	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 5.6 Procentandel av maskinerna 1976 som har funktionen

- (A) enbart roterande moment
- (B) roterande och slående moment inbyggt i borrhuvud (topphammare)
- (C) roterande och slående moment som nere-i-hålet-utrustning (sänkhammare)
- (D) roterande och vibrerande moment
- (E) annat

De i tabellerna 5.5 och 5.6 angivna procenttalen har beräknats på det totala antalet rotationsborrningsaggregat inom varje målgrupp.

Resultaten visar på några distinkta förhållanden, nämligen

- rotationsborrmaskinerna är universella i den meningen att de kan oftast användas för mer än en borrhningsmetod, vilket framgår av att procentsummorna i tabell 5.5 blir större än 100,
- den vanligaste kombinationen är att använda samma grundutrustning för såväl rotationsborrning med direktspolning som för sänkhammarborrning, vilket framgår av dubbelmarkering på alternativ A och C i tabell 5.6,
- roterande slående borrrning med sänkhammare är den klart dominerande borrhningsmetoden bland brunnsborrarna men förekommer i hög grad också inom stenindustri och bland byggnadsentreprenörer,

- roterande slående borrarning med topphammare är dominerande i konsultbranschen hos kommunerna och inom stenindustrin,
- rotationsborrning med utrustning för omvänd spolning förekommer sparsamt och enbart bland brunnsborrhare och vissa statliga verk,
- speciella utrustningar för kärnborrarning förekommer främst inom gruvindustrin och vissa statliga verk, men samtliga övriga målgrupper har enstaka sådana eller också används andra typer av utrustningar för kärnborrarning,
- en mindre del av maskinparken är speciellt för eller kan användas för augerborrning. Av en annan enkätfråga framgår att av maskinerna som används för augerborrning är ca 20 % konstruerade för detta bland brunnsborrharna och ca 50 % bland konsulterna,
- några andra metoder eller maskinella funktioner andra än de som givits som alternativ i enkäten förekommer inte i nämnvärd omfattning.

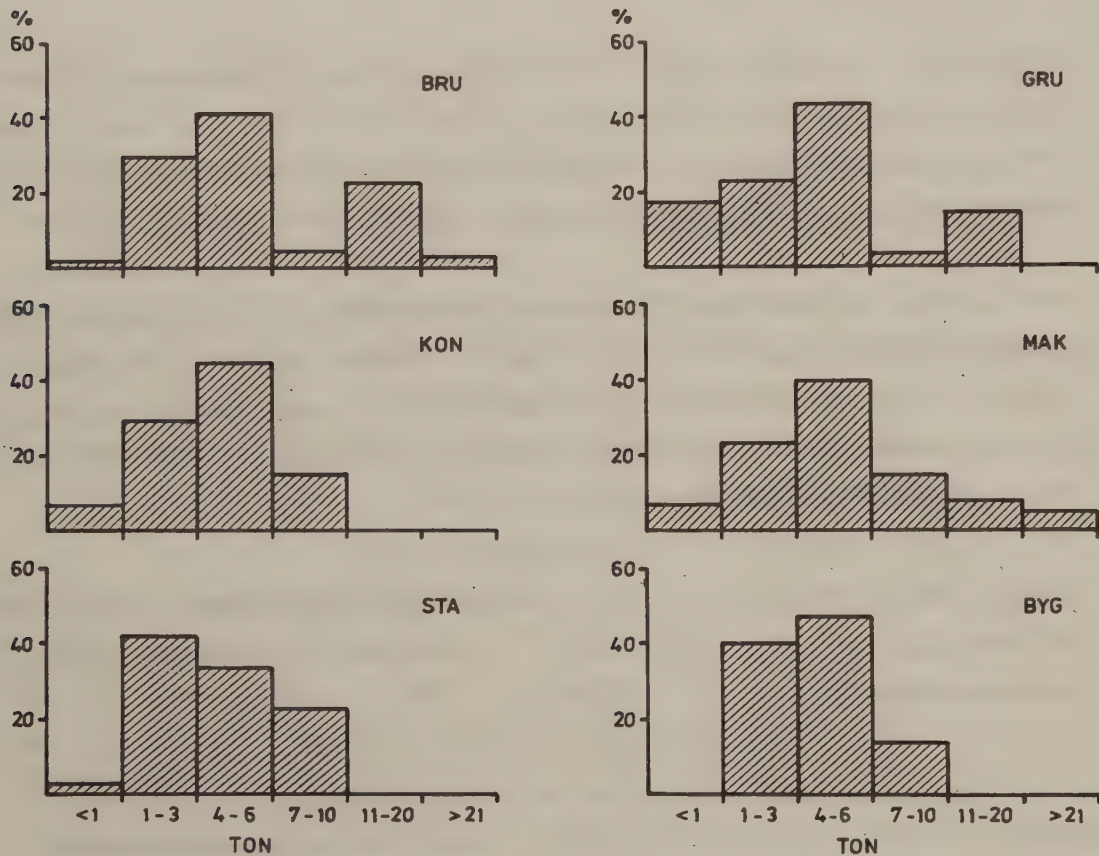
Hur stor del av utrustningarna som kan användas för "rotationsborrning med direktspolning" i den mening som enkäten avsåg har inte gått att utvärdera. Anledningen är att också "trycklufts-/hammarborrning" samt "kärnborrarning" av en del räknats som "rotationsborrning med direktspolning". Det har i efterhand inte gått att renodla dessa svar.

5.3.3 Maskinstorlek och terrängframkomlighet

Maskinernas storlek och deras relativa framkomlighet framgår indirekt av enkätens frågor om tjänstevikt och aggregatens montage.

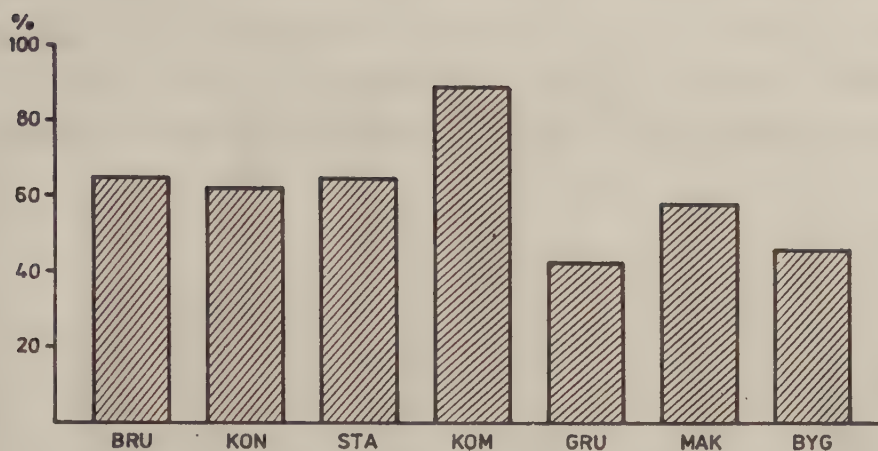
Den dominerande tjänstevikten bland linstötmaskinerna (ca 70 %) har en tjänstevikt mellan 2 och 4 ton. Ingen överstiger 10 ton eller är lättare än 1 ton. Själva borraringsaggregatet är till drygt 95 % monterat på tvåaxlat chassi.

Den dominerande tjänstevikten för rotationsbormaskiner ligger i huvudparten av målgrupperna mellan 4 och 6 ton. Däremot varierar spridningen påtagligt mellan olika grupper, se figur 5.3, som visar viktfordelningen inom de sex målgrupper som har minst 20 maskiner.



Figur 5.3 Rotationsbormaskinernas procentuella fördelning på tjänstevikt

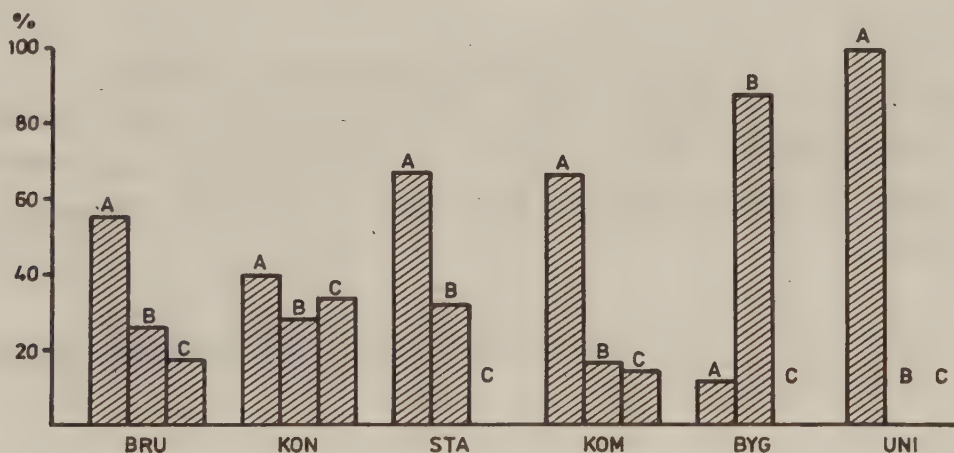
God terrängframkomlighet uttryckt som andel av rotationsutrustningarna eller som har "larvband", "larvfötter" eller liknande framgår av figur 5.4.



Figur 5.4

Den procentuella andelen rotationsbormaskiner som har "god terrängframkomlighet" för olika målgrupper (Målgruppen UNI undantagen pga för litet statistiskt underlag)

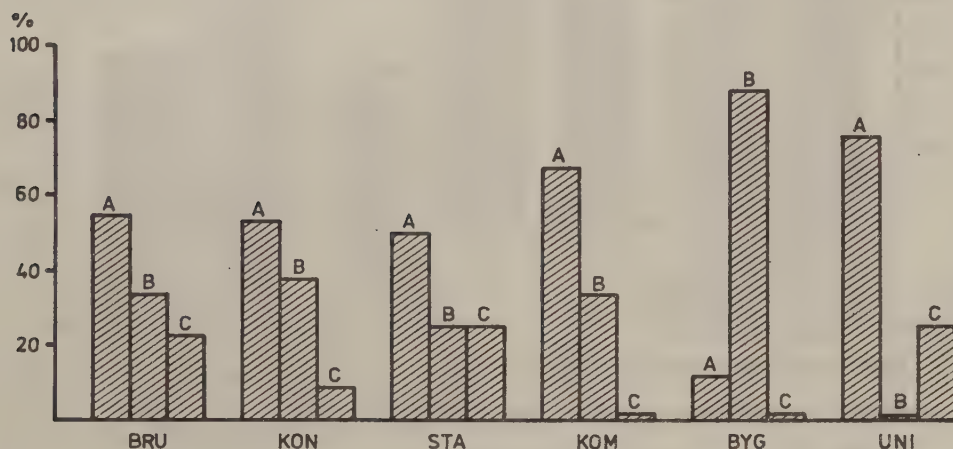
Vad avser utrustningar för rördrivning fördelar sig "tjänstevikten" enligt figur 5.5 (gruv- och stenindustrin saknar sådan utrustning).



Figur 5.5

Rördrivningsutrustningarnas procentuella fördelning på tjänstevikt
(A) <1, (B) 1-2, (C) >2 ton

I de fall rördrivningsutrustningarna är tyngre än 1 ton beror det till stor del på att de är monterade på terränggående fordon, vilket framgår vid jämförelse med figur 5.6. De lättare utrustningarna har normalt fristående hejarbock.



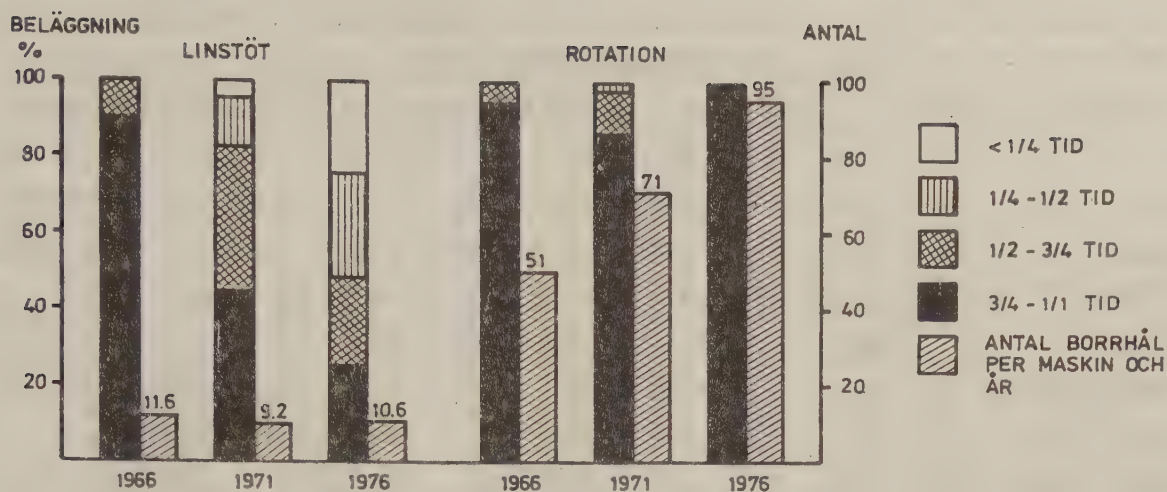
Figur 5.6 Fördelning av rördrivningsutrustningarna enligt
 (A) har fristående hejarbock
 (B) är monterad på terränggående fordon
 (C) annat

5.3.4 Borrhåls- och beläggningsstatistik

Frågan om i vilken grad maskinparken utnyttjas täcks upp i två enkätfrågor, en som anger antalet borrhål per maskin och år samt en som anger hur stor del av året maskinerna är verk-samma.

Figur 5.7 visar förhållandena för den största målgruppen, brunnsborrhare.

Vad gäller linstötborrningen visar denna en successivt avtagande beläggning. Samtidigt har antalet borrhål per maskin och år hållit sig relativt konstant, runt 10 stycken. Detta måste innebära - eftersom metoden inte utvecklats nämnvärt i effektivitet - att linstötmaskinerna numera används främst för borrning av grunda hål. Medeldjupet 1976 var också endast ca 32 meter, vilket skall jämföras med rotationsborrningens ca 62 meter.



Figur 5.7 Linstöt- och rotationsborrtrus-
ningarnas nyttjandegrad för brunns-
borrhåll samt antal borrhål per ma-
skin och år.

Rotationsborrningen uppvisar en nära nog full beläggning under hela 10-årsperioden. Det successivt ökande antal hål per maskin torde återspegla dels en viss "inlärningsperiod" och dels en effektivisering av maskinerna.

För övriga målgrupper som innehar linstötmaskiner är tendensen avseende beläggning likartad med brunnsborrarnas. Däremot skiljer sig målgrupperna åt avsevärt vad gäller beläggningen av rotationsborrning, se tabell 5.7.

MÅL- GRUPP	BELÄGGNING, %											
	1966				1971				1976			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
BRU	95	5	-	-	87	11	2	-	99	1	-	-
KON	11	45	22	22	-	20	35	45	9	13	67	11
STA	22	45	11	22	40	40	-	20	20	40	5	15
KOM	-	-	100	-	-	17	50	33	25	12	50	13
GRU	83	6	11	-	70	10	10	10	69	23	4	4
MAK	50	33	17	-	83	17	-	-	67	33	-	-
BYG	45	11	22	22	45	11	22	22	22	11	22	45
UNI	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-

Tabell 5.7 Rotationsbormaskinernas beläggning
inom målgrupperna enligt (A) $>3/4$, (B)
 $3/4-1/2$, (C) $1/2-1/4$ och (D) $<1/4$ tid

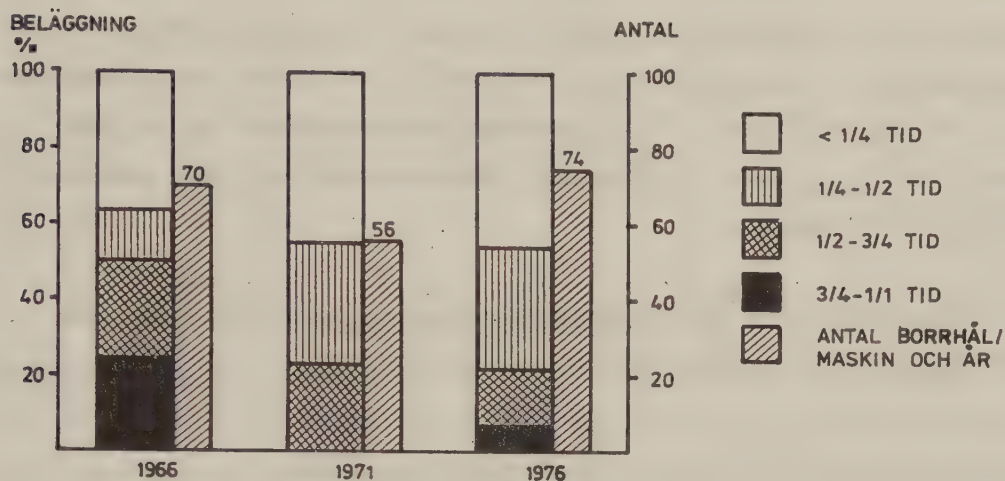
Variationen återspeglas också i statistiken över antalet borrhål per maskin, tabell 5.8.

ANTAL/ MASKIN	MÅLGRUPP							
	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI
1966	51	68	47	47	(1363)	280	30	-
1971	71	79	82	35	(1593)	996	48	-
1976	95	89	80	57	(1175)	648	27	30

Tabell 5.8 Antalet rotationsborrade hål per maskin och år för olika målgrupper

De höga siffrorna för gruvindustrin beror sannolikt på att även skotthålsbörning under jord delvis blivit inkluderade i svaren. Dessa uppgifter har lämnats tillsammans med kärnbörning och annan börning ovan mark och inte i efterhand kunnat separeras. Även stenindustrins uppgifter är något blandade, men torde till övervägande del utgöras av s k pallbörning.

De målgrupper som innehar utrustning för rördrivning uppvisar undantagslöst en genomgående låg beläggning som varit jämn eller något vikande under 10-årsperioden. Till den senare gruppen hör konsultbranschen, se figur 5.8.



Figur 5.8 Rördrivningsutrustningarnas beläggning och antal borrhningar per maskin och år inom konsultbranschen

I syfte att beräkna antalet bormetrar per år ombads målgrupperna ange medeldjupet per borrhningstillfälle 1976, tabell 5.9.

BORRN METOD	MEDELDJUP/MÅLGRUPP								
	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI	
LINSTÖT	32,4	-	-	-	42,8	-	12,5	-	
ROTATION	61,9	15,4	18,0	11,7	(97,0)	23,5	14,2	30,0	
RÖRDRIVN	13,3	16,3	10,5	13,7	-	-	7,5	8,5	

Tabell 5.9 Medeldjup per borrhning 1976 för olika målgrupper

Genom att multiplicera antalet maskiner med antalet borrhningar/maskin och angivna medeldjup kan antalet borrhningar och bormetrar beräknas för varje målgrupp. Undantaget är dock gruvindustrin som i antalet borrhningar uppenbarligen medtagit

en stor portion s k spränghålsborrning, men som i angivet medeldjup per borrning 1976 främst avsett kärnborrning.

Osäkerheten har markerats med paranteser i tabellerna 5.8, 5.9 och 5.10.

Från att det 1966 utfördes ca 3600 borrhål med linstötutrustning har denna reducerats till ca 1500 år 1976 inom brunnsborrningen. Med medeldjupet 32,4 meter borrades detta år ca 50 000 meter. Motsvarande siffra för övriga målgrupper sammantaget låg runt 1000 meter.

Görs samma räkneövningar för rotationsborrningen fås ett resultat som framgår av tabell 5.10.

MÅL- GRUPP	1000-TAL BORRHÅL			ANTAL BORRMIL		
	1966	1971	1976	1966	1971	1976
BRU	0,8	4,4	17,5	4,7	27,2	108,3
KON	2,0	2,8	3,2	3,1	4,3	6,6
STA	1,4	2,6	4,2	2,5	4,7	7,6
KOM	0,3	0,4	0,7	0,3	0,4	0,9
(GRU)	(60,0)	(74,9)	(98,7)	-	-	-
MAK	9,8	32,9	18,8	23,0	77,2	44,2
BYG	0,2	0,6	0,5	0,3	0,8	0,8
UNI	-	-	0,03	-	-	0,09

Tabell 5.10

Antalet rotationsborrade hål samt antal borrhningsmil för olika målgrupper. Vid beräkning av borrhningsmilén åren 1966-1971 har antagits samma genomsnittsdjup som för år 1976

Motsvarande statistik för rördrivningar framgår av tabell 5.11.

MÅL- GRUPP	100-TAL BORRNINGAR			ANTAL BORRKM		
	1966	1971	1976	1966	1971	1976
BRU	0,5	2,2	3,4	0,7	2,9	4,5
KON	28,5	18,8	29,1	46,6	30,7	47,6
STA	-	0,4	0,6	-	0,4	0,7
KOM	6,2	4,1	3,8	8,4	5,6	5,2
BYG	676	469	440	507	352	330
UNI	0,7	1,1	1,9	0,6	0,9	1,6

Tabell 5.11 Antalet rördrivningar och rördrivningslängd per år för olika målgrupper. Rördrivningslängden per hål 1966-1971 antas vara samma som för år 1976

Av den här redovisade borrhningsstatistiken kan följande sammanfattande slutsatser dras:

- Brunnsborrharna har avsevärt ökat sin verksamhet. Från att år 1966 borra 4000 å 5000 brunnar per år, huvudsakligen med linstötutrustning har antalet 1976 höjts till uppemot 20 000, vilka till minst 90 % borrhades med rotationsborrhmaskiner.
- Konsultbranschen har under tioårsperioden helt avyttrat sig linstötmaskinerna och hållit antalet rotationsborrhmaskiner och rördrivningsutrustningar någorlunda konstant. Den totala borrhningsverksamheten visar en viss stegring fram till 1976.
- Statliga verk och institut visar en stadigt tillväxande borrhningsverksamhet. Delar av tillväxten torde tillskrivas en ökad geoforskning med behov av borrhning främst inom verk som SGU, Vägverket och SGI.
- Den kommunala borrhningen i egen regi tycks öka i omfattning vad avser rotationsborrhning, men minska vad gäller rördrivning.

- Gruvindustrins kärnborrhål, vilka avsågs med enkäten, har inte gått att särskilja från denna grupps stora spränghåls-produktionshålsborrning. Andra enkätfrågor antyder dock att 5-10 % av borringen utgöres av kärnborrningar.
- Grus- och stenindustrin uppvisar en topp i borrhningsverksamheten 1971 med en efterföljande tillbakagång. Detta torde återspegla byggbranschens konjunkturedgång, vilken bl a resulterat i minskat behov av grus och makadam.
- Samma konjunkturedgång kan också märkas hos byggnadsentreprenörernas minskade rördrivning från 1971 och framåt. (Rördrivningen i denna bransch antas i huvudsak bestå av nedspolning eller drivning av spetsar för grundvattensänkning.)
- Den blygsamma men dock något ökande borrhningsverksamheten bland universitet och högskolor torde orsakas av en ökad forskningsverksamhet på geosidan.

5.3.5 Borrningarnas fördelning på ändamål

De olika borrhningsmetoderna används för skilda ändamål inom olika branscher.

Linstötborrningen som i stort sett endast förekommer bland brunnsborrarna används nästan enbart för brunnsborrning (97,8 %). Som metod för undersökningsborrning användes linstötborrning bara till knappa 2 %.

Huvudparten av brunnsborrarna anger dessutom att andelen undersökningsborrning med linstötutrustning minskat från 1971 till 1976.

Rotationsborrningen har ett betydligt bredare användningsområde, vilket framgår av tabell 5.12, som visar hur borrhningsverksamheten fördelats på olika ändamål 1976.

MÅLGRUPP	BORRNINGSAÄNDAMÅL					
	A	B	C	D	E	F
BRU	96,0	2,1	1,9			
KON	2,0	8,3	88,8			
STA				19,7	47,3	33,0
KOM				11,0	82,4	6,6
GRU				81,5	8,0	10,5
MAK				99,2	0,4	0,4
BYG	10,0		90,0			
UNI	30,0	70,0				

Tabell 5.12 Rotationsborrningens procentuella fördelning på olika ändamål 1976

(A) Brunnsborrning

(B) Undersökningsborrning för vattentäkt

(C) Undersökningsborrning för annat ändamål

(D) Produktionsborrning

(E) Undersökningsborrning

(F) Annat

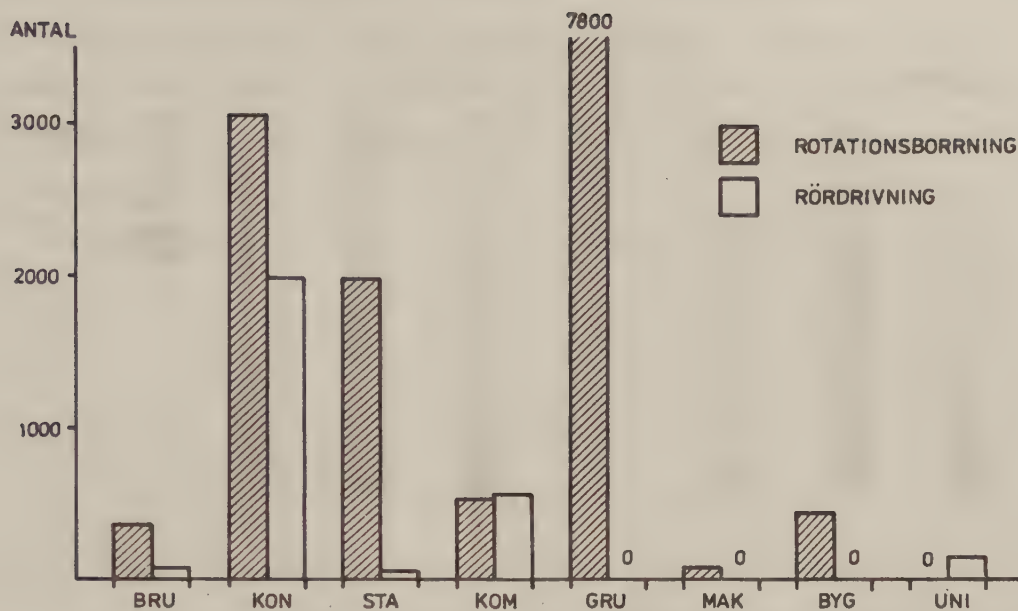
På frågan om andelen undersökningsborrning ökat, minskat eller varit oförändrad jämfört med 1971 anser flertalet att den varit oförändrad eller möjligen ökat något. Samma gäller för rördrivningen, vars fördelning avseende ändamål framgår av tabell 5.13.

OBJEKT	MÅLGRUPP							
	BRU	KON	STA	KOM	GRU	MAK	BYG	UNI
A	70,1	6,4	0	1,7	-	-	0	2,0
B	3,9	5,1	0	8,0	-	-	0	2,0
C	18,3	62,6	75,0	61,5	-	-	0	73,6
D	7,7	25,9	25,0	28,8	-	-	100	12,4

Tabell 5.13 De under 1976 utförda rördrivningarnas procentuella fördelning på olika objekt

(A) Enklare rörbrunnar
 (B) Tåktundersökning (ex grustäkt)
 (C) Grundvattenundersökning (ex obs-rör)
 (D) Andra markundersökningar/arbeten

Siffrorna visar att den stora huvudparten av borrhningar kan klassas som produktionsborrning, men att en betydande del undersökningsborrningar för olika ändamål ändå förekommer. Tas de tidigare framräknade antalet borrhål för året 1976, tabellerna 5.10-5.11 som utgångspunkt kan antalet undersökningsborrningar nöjaktigt beräknas, se figur 5.9.



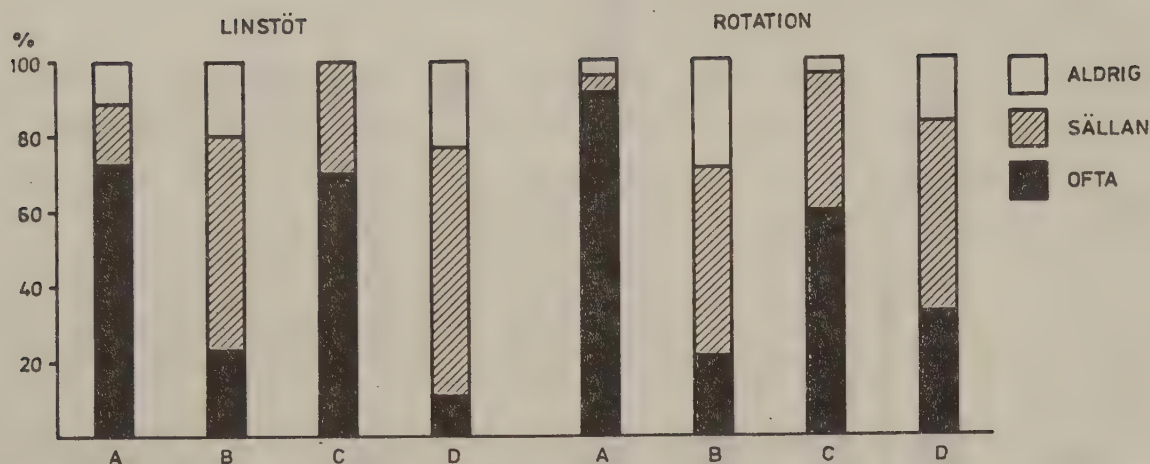
Figur 5.9 Antalet undersökningsborrningar 1976 fördelat på målgrupper (För rördrivning begränsat till täkt- och grundvattenundersökning).

Det är således inom konsultbranschen och gruvindustrin som det stora antalet undersökningsborrningar utförs. Totalt torde det ha borrats i storleksordningen 15 000 hål i undersökande syfte 1976, vilket ungefärligen motsvarade 10 % av den totala tunga borrningen.

Reservation måste dock inläggas avseende gruvindustrin vars siffermaterial varit svårbearbetat och därför inrymmer högre statistisk osäkerhet än övriga målgrupper.

5.3.6 Borrningen fördelat på olika jord- och berglager

I avsikt att få en uppfattning om i vilka geologiska formationer de olika borrhningsmetoderna tillämpas ställdes frågan med vilken frekvens olika metoder användes i några uppräknade jord- och berglagerförhållanden. Vad avser brunnsborrarna framgår svaren av figur 5.10.



Figur 5.10 Frekvensfördelning av linstöt- och rotationsborrning i olika jord- och berglager bland brunnsborrhare

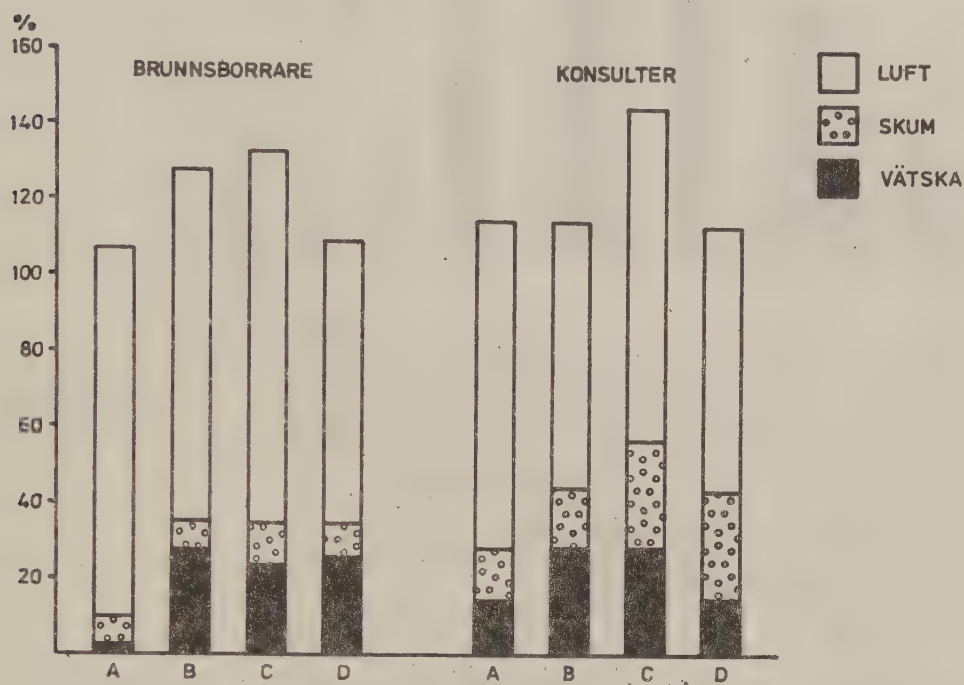
- (A) Hård berggrund som granit, gnejs och grönstenar
- (B) Sedimentärt berg som sandsten, skiffer och kalksten
- (C) Jordlager med stenigt, grusigt, sandigt material
- (D) Jordlager med mo/mjåla ("jåslera", "kveg") och lera

Svarsresultaten tyder på att linstöten fortfarande i hög grad används för borrhning i hårt kristallint berg. Det måttliga medeldjupet, 32,4 m, se tabell 5.9, antyder dock att borrhningsdjupen ofta är moderata.

Användandet av såväl linstöt- som rotationsborrning i sedimentärt berg sammanfaller vad avser frekvensen med dessa bergarters geografiska begrånsning (20-25 %).

Borrhning i friktingsjorðar, vilket för brunnsborrharna huvudsakligen innebär anläggning av brunnar i glacifluviala avlagringar, är något vanligare med linstötborrhning ån med rotationsborrmetoder. I finkorniga sediment används däremot de roterande borrhningsförfarandena i jämförelsevis högre utstråkning ån linstötmotoden.

Av borrhningsmetodiskt intresse är att se när och i vilken omfattning olika spolningsförfaranden används. För de två statistiskt sett säkraste målgrupperna, brunnsborrhare och konsulter, visas detta i figur 5.11.

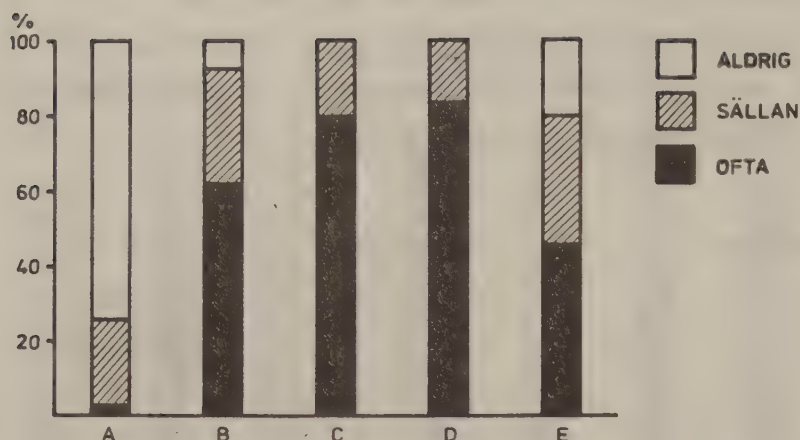


Figur 5.11

Procentuell fördelning på användandet av olika spolningsförfarande bland brunnsborrhare och konsulter vid rotationsborrning i (A) hård kristallin berggrund, (B) sedimentär berggrund (C) steniga grusiga sandiga jordlager och (D) finkorniga jordlager

Av diagrammet framgår att behovet av alternativt spolningsmedel är störst vid borrning i jordlager med stenigt, grusigt material. Användandet av skum skiljer sig inte mellan kristallin och sedimentärt berg, vilket tyder på att berglagren överlag uppvisar kvantitativt likartade borrningstekniska spolförlust- och stabilitetsproblem. Skumtillsats är annars vanligast vid borrning i jordlager. I övrigt är luftspolningen den klart dominerande. Det förhållandevis mer använda vätskespolningsförfarandet bland konsulter vid borrning i kristallin berg hör sannolikt samman med denna målgrupps större andel kärnborrning (diamantborrning).

Rördrivning är av naturliga skäl begränsat till löst lagrade formationer. Användningsfrekvensen i olika material målgrupperna sammantaget framgår av figur 5.12.



Figur 5.12 Frekvensfördelning av hur ofta rördrivning används för huvudsaklig borrhning i
 (A) lös sandsten, skiffer eller kalk
 (B) stenigt grusigt åsmaterial
 (C) stenfri grus och sand
 (D) silt och lera och
 (E) morän

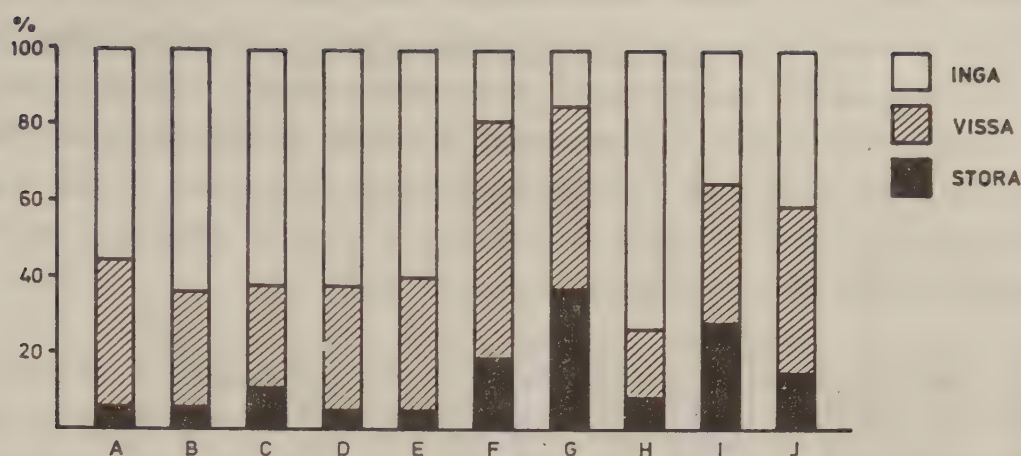
Diagrammet återspeglar främst användningen inom konsult- och brunnsborrningsbranschen. Några större klarlagda avvikelser förekommer dock inte mellan målgrupperna. Uppenbarligen är rördrivningsmetoden mest använd i någorlunda block- och stenfria sedimentära jordlager. Trots att såväl sten- som blockhalt kan vara hög i både åsmaterial och morän används metoden ändå anmärkningsvärt ofta i sådana jordlager.

5.3.7 Borrhningstekniska svårigheter i olika jord- och bergmaterial

För att skapa en uppfattning av metodernas lämplighet för borrhning i olika geologiska formationer gjordes en fråga där svararen ombads indela jord- och berglagren i borrhningsteknisk svårighetsgrad med gradering i tre klasser.

Erhållna svar torde, förutom geologiskt baserade problem, också innehålla värderingar vad avser borrhningstid, borrhningsekonomi etc och ger kanske inte uttryck för enbart geologiskt orsakade svårigheter.

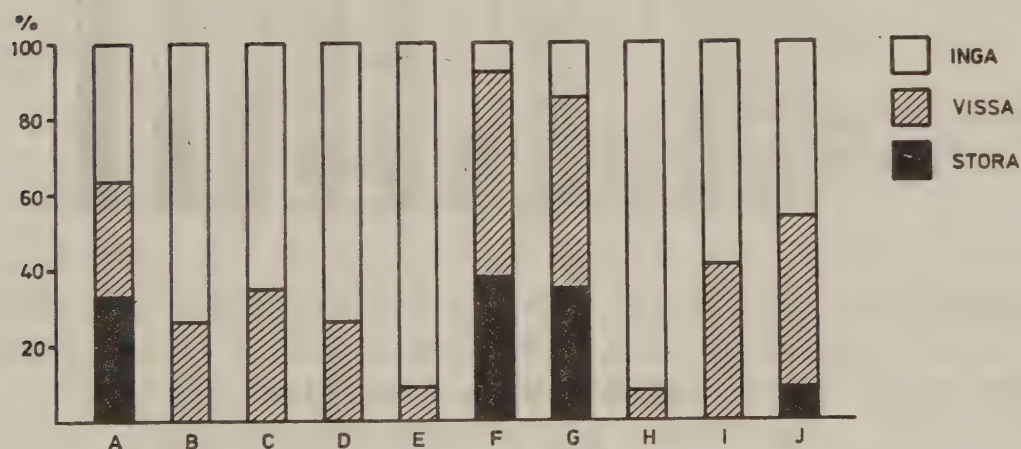
De största problemen vid linstötborrning upplevs av de flesta vid borrhning i åsmaterial och i finkorniga sediment, främst mo och mjäla. Även moräner medför vissa besvärligheter. Svarsfördelningen framgår av figur 5.13 och gäller brunnsborrhare.



Figur 5.13

Frekvensfördelning av borrarngstekniska svårigheter för brunnsborrhare vid linstötborrning i

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| (A) granit, gnejs grönstenar och likn | (F) morän |
| (B) lerskiffer, andra skiffrar | (G) stenig, grusig sand |
| (C) hård sandsten | (H) sand och finsand |
| (D) lös sandsten | (I) mo och mjäla |
| (E) kalksten | (J) lera |



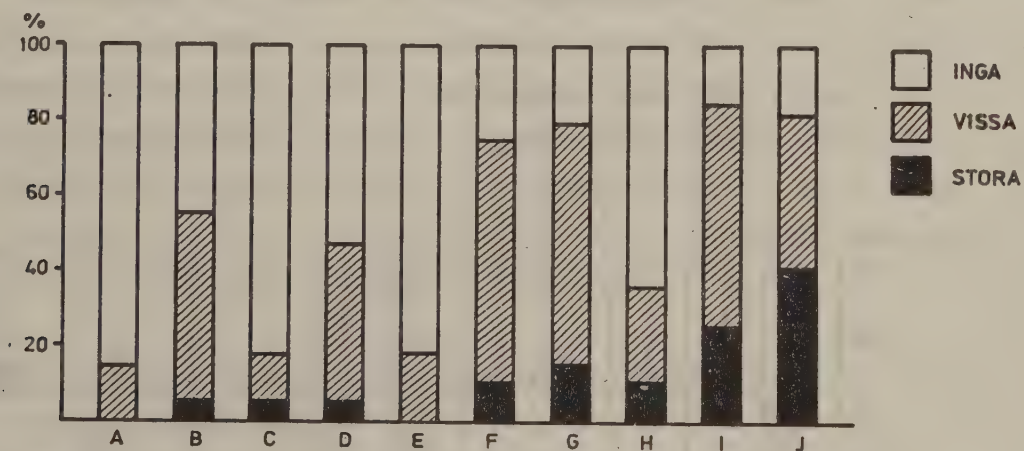
Figur 5.14

Frekvensfördelning av borrarngstekniska svårigheter vid rotationsborrning med vätskespolning i jord- och berglager enligt samma indelning som figur 5.13. Diagrammet gäller brunnsborrhare

Resultaten från linstötborrningen kan direkt jämföras med svårigheterna vid rotationsborrning med vätskespolning, inom samma målgrupp, figur 5.14, (brunnsborrhare). Som framgår vid en jämförelse mellan diagrammen upplevs problemen vara mindre vid bergborrning med rotationsmetoden. Undantag utgör dock kristallint berg, vilket i och för sig inte lämpar sig för s k spolborrning med rullkrona som avses här.

Även vid borrning i jordlager upplevs problemen i allmänhet vara mindre vid rotationsborrning än vad som är fallet för linstötmetoden. De enda undantagen är moräner och stenigt, grusigt material.

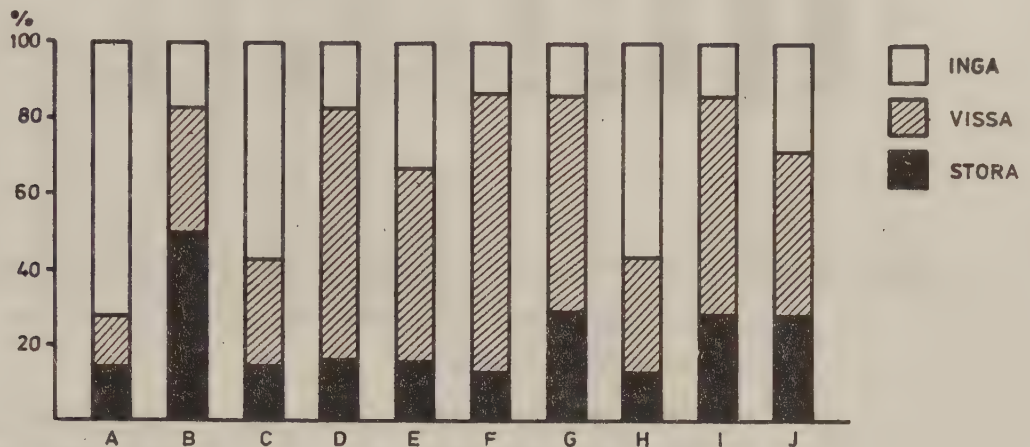
Tryckluftsborrning (hammarborrning), figur 5.15 visar en förskjutning av borrningstekniska svårigheter till sedimentärt berg vid bergborrning och till finkorniga lösa sediment vid borrning i jord.



Figur 5.15 Frekvensfördelning av borrningstekniska svårigheter vid "tryckluftsborrning" (hammarborrning) i jord- och berglager enligt samma indelning som figur 5.16. Diagrammet gäller brunnsborrhare

Tillräckligt stort statistiskt underlag för jämförelser med andra målgrupper finns ej, konsultbranschen möjligen undan-

tagen vad avser tryckluftsborrning. Som framgår av figur 5.16 anger konsulterna en genomgående högre svårighetsgrad för borrning i berg, främst sedimentära berglager. Även i de flesta jordlager anser konsulterna att problemen är något större.

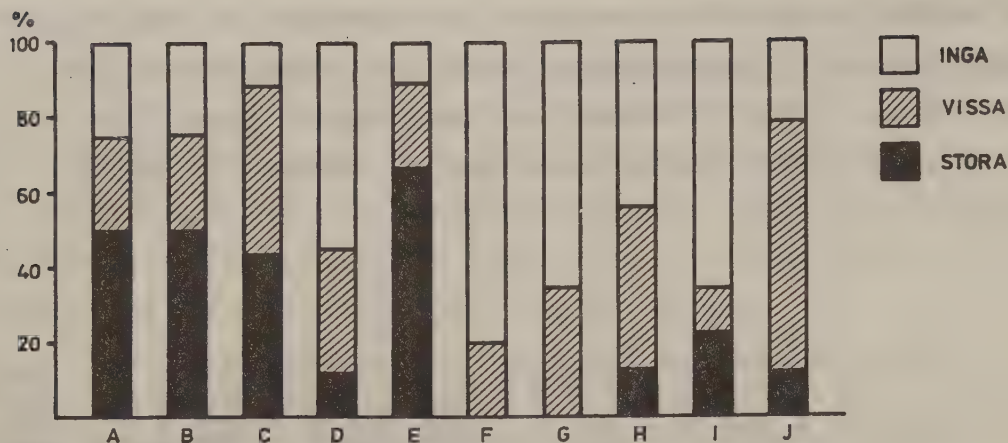


Figur 5.16

Frekvensfördelning av borrningstekniska svårigheter vid tryckluftsborrning (hammarborrning) i jord- och berglager enligt

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| (A) granit, gnejs grön- | (F) morän |
| stenar och likn | (G) stenig, grusig |
| (B) lerskiffer, andra | sand |
| skiffrar | |
| (C) hård sandsten | (H) sand och finsand |
| (D) lös sandsten | (I) mo och mjäla |
| (E) kalksten | (J) lera |

Uppgifter över borrningstekniska svårigheter vid rördrivning får representeras av konsultbranschens erfarenheter, figur 5.17.



Figur 5.17 Frekvensfördelning av borrarningstekniska svårigheter gällande konsultbranschen vid rördrivning i

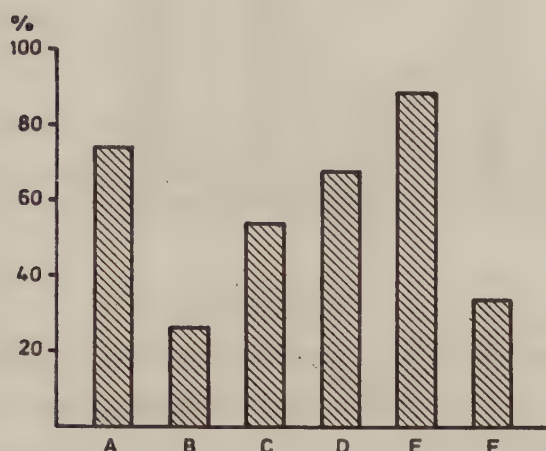
- | | |
|-------------------------|----------------|
| (A) lös kalksten | (F) sand |
| (B) lös sandsten | (G) mo/finsand |
| (C) stenig, grusig sand | (H) mo/mjåla |
| (D) grus | (I) lera |
| (E) morån | (J) morånlera |

Som framgår av diagrammet förorsakar rördrivning flest problem i jordlager med sten och block. I sten- och blockfria sediment ökar svårigheterna med minskad kornstorlek. Även övriga målgruppers svar visar på samma erfarenheter.

5.3.8 Protokollföring, provtagning och annan registrering

Av stor vikt för enkätundersökningen var att utröna i vilken omfattning och med vilken metodik borrarningarna dokumenteras och då främst med hänsyftning på undersökningsborrning. De enkätfrågor som täcker detta ämnesområde rör protokollföring, provtagningsförfarande och för vissa metoder speciella frågor rörande borrsjunks- och spolförlustmätning.

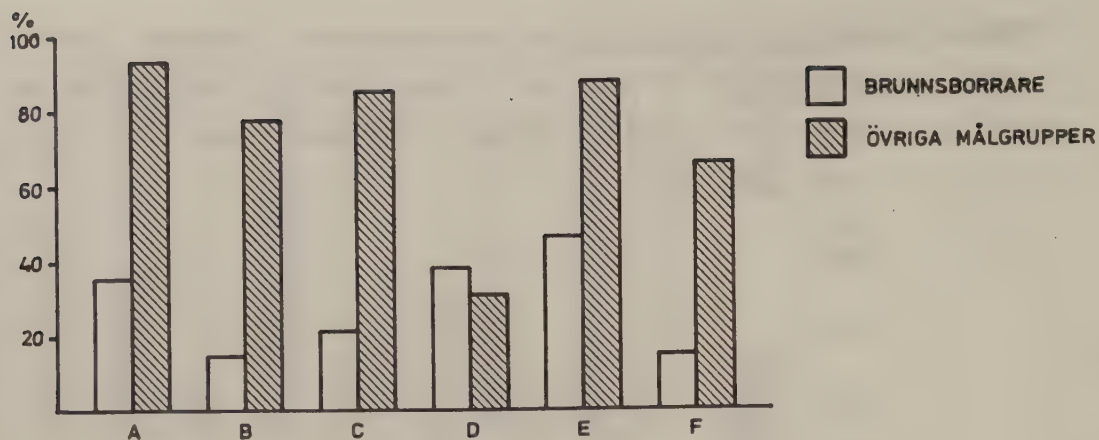
Frågan om protokollföreling täckte endast linstöt- och rotationsborrning. Svartsfördelning för linstötborrning framgår av figur 5.18 och gäller enbart brunnsborrhare.



Figur 5.18 Procentuell andel som för protokoll vid linstötborrning med uppgifter om (gäller endast brunnsborrhare)

- (A) lagerföljd
- (B) borrsjunkningshastighet
- (C) sprickighet
- (D) vattenförande lagers kapacitet
- (E) grundvattennivåer
- (F) olika lagers hårdhet

Protokollförelingen vid rotationsborrning visade för brunnsborrharnas del en betydligt lägre frekvens vilket framgår av figur 5.19. Samma figur visar också att protokollförelingen är mer omfattande för övriga målgrupper som här sammanslagits.



Figur 5.19 Procentuell andel av brunnsborrare och övriga målgrupper sammantaget som för protokoll vid rotationsborrning med uppgifter om

- (A) lagerföljd
- (B) borrsjunksningshastighet
- (C) sprickighet
- (D) vattenförande lagers kapacitet
- (E) grundvattennivåer
- (F) olika lagers hårdhet

Då prover tas vid linstötborrning används nästan undantagslöst s k sandpump. Vidare är kärnprovtagning vid linstötborrning mycket ovanlig trots att sådan anges vara möjlig i alla formationer med tvekan för "fast hårt berg".

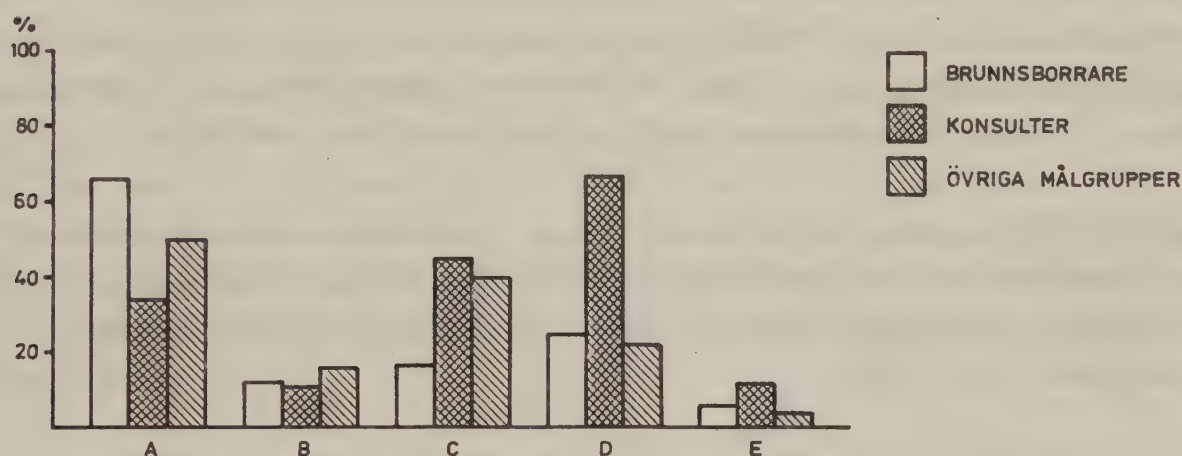
Provtagningsförfarande vid rotationsborrning varierar beroende bl a på spolningsförfarande. Vid rotationsborrning med vätskespolning är det vanligast att ta prover av kaxet i "skopa, spann eller siktnät" direkt vid "spolstrålen". Kärnprovtagning vid rotationsborrning med spolning förekommer hos flertalet målgrupper, hos brunnsborrare dock mera sällan.

Vid tryckluftsborrning (hammarborrning) tas prover antingen i "skopa, påse eller liknande, direkt vid utblåset" eller också "från borrsamlamhög på mark" (ungefär lika vanligt). I det förstnämnda alternativet ingår provtagning från dammavskiljare, s k "dammsugare".

Kärnprovtagning vid "tryckluftsborrning" förekommer men i begränsad omfattning. Notabelt är att ca 30 % av konsulterna anger att de använder kärnprovtagare ofta och 40 % sällan vid tryckluftsborrning. Motsvarande siffror för brunnsborrhare är 7 respektive 15 %.

Merparten av de som svarat på frågan om kärnprovtagning vid rotationsborrning menar att denna är möjlig i alla formationer med tvekan för grus och sand och i viss mån också finsand och silt.

Provtagningsförfarandet vid rördrivning är delvis avhängigt vilken typ av rörspets som används. Det kan därför vara av intresse att först visa den procentuella fördelningen av spetsar som används vid provtagning, figur 5.20.



Figur 5.20 Procentuellt användande av olika rördrivningsspetsar vid provtagning enligt

- (A) Öppet rör
- (B) perforerat rör, öppen spets
- (C) specialkonstruerad spets
- (D) perforerat rör, sluten spets
- (E) annat

Öppet rör utan perforering är vanligast bland brunnsborrhare. Konsulterna använder oftast sluten spets med perforerat rör, men i hög grad också andra specialkonstruerade spetsar. Bland övriga målgrupper dominerar den öppna rörändan.

Vid provtagning är det vanligaste förfarandet att blåsa upp materialet som tränger in i röret med tryckluft. Nära nog lika vanligt är dock att spola upp materialet med vatten eller också att hämta upp det med speciell provtagare.

Kärnprovtagning med rördrivningsutrustning förekommer hos nästan alla målgrupper och till förvånansvärt hög grad. Sålunda anger exempelvis konsulterna sig göra detta ofta till 22 % och sällan till 33 %. Motsvarande siffror för brunnsborrhare är 5 respektive 19 %. Målgrupperna överlag anser också sådan provtagning vara möjlig i de flesta jordarter, med viss reservation för steniga, grusiga material samt morän.

Borrsjunkningsmätning vid rotationsborrning med spolning har någon gång utförts systematiskt till 50 % eller mer bland konsulter och statliga verk (främst SGU och SGI). Gruvbranschen anger ca 35 %. Övriga målgrupper anger 20 % eller lägre. Vid tryckluftsborrning ligger frekvensen något högre, på samma fråga, bland brunnsborrhare ca 30 % och konsulter ca 85 %.

Spolförluster, som ger information om permeabla zoner påträffas, registreras systematiskt till 3 % bland brunnsborrhare, 13 % bland konsulter och 14 % inom gruvbranschen, hos övriga målgrupper inte alls.

Systematisk borrsjunkningsregistrering vid rördrivning, slutligen, är totalt sett mindre vanligt än vid rotationsborrning. I de fall det förekommer mäts sjunkningen till övervägande del i tid per neddriven längd eller också i antal slag per neddriven längd.

Sammanfattningsvis visar enkäten vad avser protokollföring och annan registrering stor omfattning och betydande bredd. Mot bakgrunden härav är det förvånansvärt hur litet intresset är och har varit att bättre utvärdera och vidareutveckla den information som på detta sätt kan fås vid varje borrhningstillfälle.

6. STÖRD PROVTAGNING VID TUNG UNDERSÖKNINGSBORRNING BORRNINGSTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR, METODIK- OCH TILLFÖRLITLIGHETSANALYS

Dokumentationen av ett borrhål kan dels ske under borrhningens gång genom provtagning, registrering av borrsjukning, spolför-luster (om vatten eller mudd används), förändringar i spol-vätskans färg och sammansättning, kontinuerlig kapacitetstest, borrhbeteende och annan protokollföring, och dels efter borrhningens genomförande genom diverse loggningar och tester i hålet. Figur 6.1 ger en sammanställning av de metoder som står till buds. I de följande två kapitlen behandlas endast den dokumentation som kan göras under borrhningens gång och som fått beteckningen Registrering Under Borrning (RUB).

6.1 Bakgrund

Som framgått av kapitel 5 kan i storleksordningen 10 % av den tunga borrhningsverksamheten klassas som undersökningsborrning. Det har också visats att en mindre del av dessa borrhningar utförs som s k kärnborrhning, vilket innebär att en kärna stansas eller borraras ut och hämtas till markytan med någon form av kärnprovtagare. Man erhåller då ett prov från bestämd nivå och med bibehållna strukturer och egenskaper, s k ostörd provtagning.

Huvudparten av undersökningsborrningarna resulterar emellertid i störda prover, vilket innebär att proven som når markytan endast till viss del berättar om de jord- och berglager som genomborras. Egenskaper som lagringsstruktur, packningsgrad (i jord), sprickighet (i berg), homogenitet etc går förlorade. Oftast får man dock en god bild av kornfördelning i jord samt bergartsfördelning i berg. Provernans kvalitet och representativitet varierar dock avsevärt. Framför allt inverkar borrhmetod och sättet varpå borrhningen och provtagningen genomföres. I detta sammanhang spelar den yrkesskicklighet som borrhningspersonalen besitter en stor roll.

REGISTRERINGEFTER BORRNING (REB)

PROVGENOMGÅNG (PG)

Textur

Struktur

Mekaniska egenskaper

Kemiska egenskaper

Fysikaliska egenskaper

Hydrauliska egenskaper

Vattenbeskaffenhet

BORRHÄLSLOGGNING (BHL)

Mekaniskt

Kemiskt

Geofysiskt

HYDRAULISKA TEST (HT)

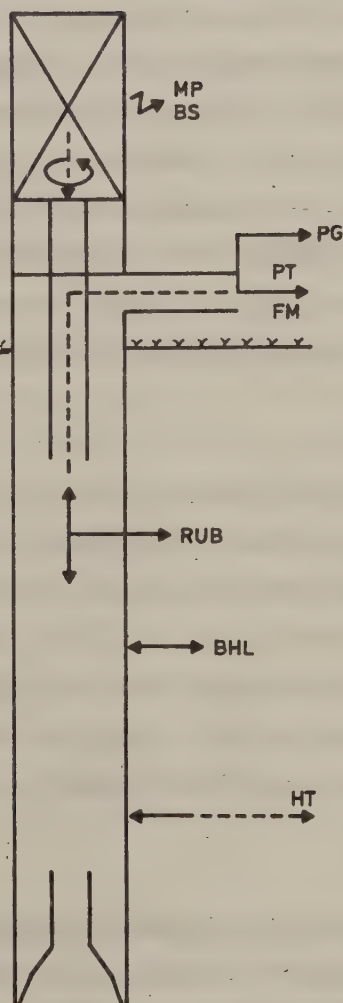
Kapacitetstest

Produktionstest

Provpumpning

Injektionstest

Vattentrycksmätning

REGISTRERINGUNDER BORRNING (RUB)

BORRN. PARAMETRAR (BP)

Borrddjup

Matningskraft

Rotationshastighet

Vridmoment

Spoltryck

Beteende

PROVTAGNING (PT)

Kärnor

Kax

Spolvätska

Vattenprov

FLÖDESMÄTNING (FM)

Spolförlust

Kont. kapacitets-
test

BORRSJUNKNING (BS)

Borrningshastighet

Relativt borrar-
ningsmotståndRelativt borrar-
kroneslitage

Figur 6.1 Möjliga dokumenteringar under och efter borrning. Pilarna visar registreringarnas relativa räckvidd i formationen

För den som i dokumentärt syfte beställer en undersökningsborrning är det av största vikt att känna till vilken borrar-

metod som bör väljas med hänsyn till provkvalitet, att kunna utforma ett realistiskt och ur borrhningsteknisk synpunkt godtagbart borrhningsprogram samt att kunna samråda med borrhmanskapet och improvisera allt eftersom problem uppstår. Det sistnämnda är särskilt viktigt eftersom det i praktiken är borrhmanskapets yrkesskicklighet och vilja att utföra en borrhning efter givna föresatser som är helt avgörande för det slutliga resultatet. Man skall veta att borrhning och provtagning är lika mycket ett improviserat konststycke som en exakt vetenskaplig disciplin.

En undersökningsborrhning har normalt ett direkt värde i det att resultaten används som underlag till projektering och byggande, beslut av olika slag samt vetenskapliga analyser och tolkningar. Varje borrhningstillfälle, oavsett det är produktions- eller undersökningshål har också ett mer långsiktigt dokumentärt värde. Detta kommer bl a till uttryck i en lagstadgad skyldighet för brunnsborrhare m fl att föra protokoll och delge dessa till en central myndighet (Sveriges Geologiska Undersökning).

I lagtexten (SFS 1975:424) sägs bl a att den som yrkesmässigt utför borrhning eller liknande arbete i syfte att undersöka förekomst av grundvatten eller att utvinna sådant är skyldig att till SGU lämna en redogörelse för arbetet och dess resultat. Vidare sägs att protokollen (eller redogörelserna) skall innehålla uppgifter om mäktighet av jord- och berglagren samt vad slags jord- och bergarter som genomborrats. Om grundvatten påträffas infordras data om grundvattenytans läge, samt resultat av vattenmängdsmätning och vattenanalys (Modig 1978).

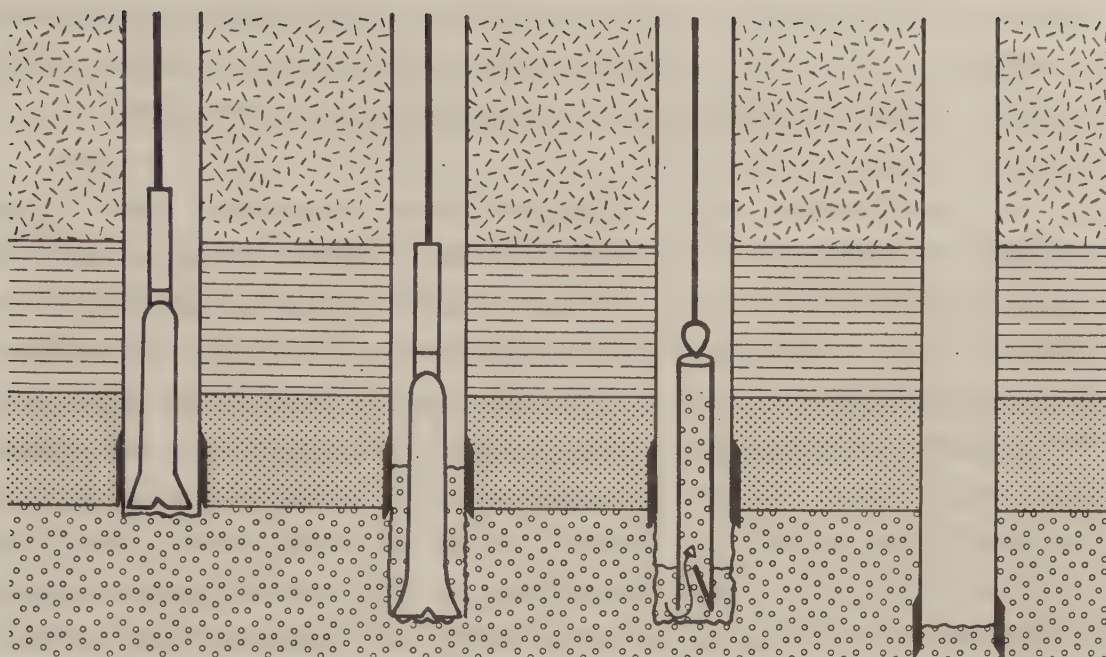
De data som inkommer till SGU arkiveras i det s k brunnsarkivet och är offentliga. Arkivet fyller flera viktiga uppgifter. Hit kan man exempelvis vända sig för att få förhandsuppgifter inför en borrhning. Mer övergripande ger inkomna data ökade kunskaper om Sveriges geologiska uppbyggnad och grundvattenförhållanden, vilket kan användas bl a för vetenskapligt bruk och för planeringsändamål.

Då man använder arkiverade borrhningsdata eller direkta resultat från en undersökningsborrning måste hänsyn tas till under vilka förutsättningar och med vilken metodik resultaten insamlats. Detta kapitel är ett försök att analysera borrhningstekniska förutsättningar och metodik för störd provtagning. Endast de vanligaste tunga svenska borrhningsmetoderna behandlas.

6.2 Provtagning vid linstötborrning

Linstötmetoden som metodiskt beskrivits i kapitel 4 anses ge prover med förhållandevis god kvalitet. Förfaringssättet att driva foderrör med samma intervall som rensningen vid borrning i okonsoliderat material, se figur 6.2, borgar för att proven verkligen representerar rätta nivåer. Mejselns aktivitet nere i hålet gör dock att olika lager, i mindre skala sett, blandas med varandra, varvid lagergränser och andra detaljer i lagerföljdens uppbyggnad suddas ut.

Provens representativitet kan också störas till följd av inflytningsfenomen då borrning sker i lösa flytbenägna sediment under grundvattenytan. Bl a visar erfarenheterna att undertryck uppstår vid upptagningen av sandpumpen och material då sugas in i hålet. Detta inträffar framför allt i silt och finsand (Nilsson 1980).



Figur 6.2

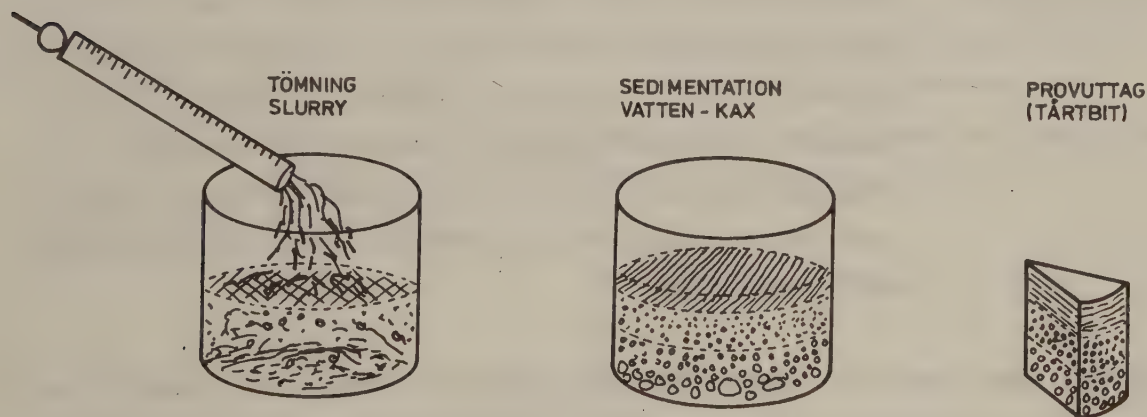
Förfaringssättet vid rörborrning med linstöt, okonsoliderade formationer. Mejseln krossar och luckrar upp. Slurryn, bestående av kax och vatten, hämtas upp med sandpump, varefter foderrören drivs till ny nivå. I lösare formationer drivs röret oftast före uppluckring och rensning.

Vidare sker en viss söndermalning som är svår att kvantifiera. Generellt uttryckt är denna dock liten vid borrning i löst lagrade formationer där endast stora partiklar, block och sten, slås sönder, medan nedkrossningsmekanismen är en förutsättning för nedträngning vid borrning i hårda formationer. I det sistnämnda fallet består borrhaxet av såväl större fragment som finkorniga krossprodukter, s k "mjöl". Det är då endast fragmenten som kan användas för att okulärt bestämma vilken bergart som genomborrats.

Prover tas vanligen med s k sandpump. Denna består i princip av ett öppet rör som vid uppdragning fås att slutas i neder-

ändan med en platt- eller kulventil, se figur 4.3. Ibland användes kolvump, varvid materialet sugas in i röret. Vid borrhning i kohesiva lager sitter det ofta material vidhäftat på mejseln. Detta ger ofta ett bättre prov för okulär bedömning av jordarten än det som tas upp med sandpumpen.

För att sandpumpen skall fungera måste borrhkaxet vara blandat med vatten till en s k slurry. Detta innebär att vatten måste tillföras borrhålet vid borrhning genom torra lager. Slurryn tränger in i sandpumpen vid nedåtgående rörelse. Då pumpen dras uppåt sluts ventilen och provet stannar kvar. Väl uppe på marken töms innehållet i ett kärl eller liknande. Suspenderat material kommer att sedimentera på kärlobotten varvid de tyngsta partiklarna faller först och de lättaste sist, se figur 6.3. Vad som erhålls är således ett fraktionerat (sorterat) prov. Det är viktigt att inte dekantera kärlet förrän vätskan blivit klar. I annat fall går finpartiklarna förlorade och ett missvisande prov blir resultatet.



Figur 6.3 Tagning av representativt prov

Det prov som erhålls representerar ett visst intervall av lagerföljden. Hur stort detta är beror på med vilken täthet provtagningen sker, vilket i sin tur måste väljas med hänsyn till en rad omständigheter bl a ändamålet med provtagningen, rådande geologiska förhållanden och ekonomiska ramar. Det vanliga är att rensa hålet efter 1-3 meters borrhning.

Vid borrhning utan foderrör i konsoliderade formationer föreligger en föroreningsrisk av proven genom att partiklar från övre borrhålsväggen kan falla ned mot hålbotten och blandas med material från aktuell borrhningsnivå. Normalt är denna felkälla obetydlig men kan accentueras genom ras från instabila kross- eller sprickzoner och bör därför uppmärksammas.

Att denna typ av felkälla förekommer visar ett par borrhningar genom i huvudsak kristallin kalksten på Gotland. En genomgång av kaxprover från dessa brunnsborrhningar visade vid jämförelse med borrhprotokollens uppgifter om var vattenförande sprickor påträffats att flera kaxfragment från dessa zoner hade utfällningar (sannolikt järnhydroxid) på sprickexponerade ytor. Även i kaxprover från lägre nivå förekom sådana fragment men i avtagande mängd utan att någon ökad vattenföring noterades. I ett fall påträffades ytterligare en vattenförande sprickzon på större djup, varvid antalet fragment med utfällning åter ökade (opubl. utredningsmaterial VIAK AB, Malmö).

Även om linstötborrhningen ger prover av relativt god kvalitet med få möjliga felkällor används den alltmer sällan för undersökningsborrhning. Detta har sannolikt att göra med metodens allmänna nedgång till förmån för effektivare och mindre tidskrävande rotationsborrmetoder.

6.3 Provtagning vid roterande krossande borrhning med vätskespolning

Rotationsborrhning med vätskespolning innefattar tre förfaranden som metodiskt beskrivits i kapitel 4.4. Framför allt kommer ofta den metod som kallas rotationsborrhning med direktspolning, se bl a figur 4.22, till användning i undersöknings-sammanhang, varför tonvikten i detta avsnitt lagts på denna metod.

6.3.1 Kaxbildning och kaxtransport

Vad som bestämmer kaxets sammansättning och utseende är primärt en funktion av formationsuppbyggnaden och dess egenskaper. Sekundärt inverkar borrhäls utformning och kondition liksom rent borrhäls tekniska parametrar som tryck på borrhäls, rotationshastighet och spolningstryck.

Om man tills vidare bortser från vad borrhäls parametrarna och borrhäls innebär, (avsnitt 4.4.1.2) kan kaxets förhållande till den geologiska uppbyggnaden betraktas mera isolerat.

Destruktionsprocessen, som beskrivits i kapitel 3, medför att sammanhållande berg- och jordmaterial krossas och skjuvas till mjöl och fragment. Löst lagrade friktionsmaterial luckras huvudsakligen upp till ursprungliga jord- eller bergartsbildande partiklar. Kaxets sammansättning kommer således att primärt bestämmas av hur den genomborrade formationen är uppbyggd, vilken konsolideringsgrad, struktur etc den har.

De erfarenheter jag har efter att ha följt och gjort provtagning av hundratals borrhäls i olika geologiska miljöer visar att lösa sedimentära formationer som ej binds av starka kohesiva krafter ger kax bestående av ursprungliga byggelement. Sålunda bildas sand av en lös sandsten liksom av en kvartär sandformation. Vidare kommer en morän att ge upphov till både ler-, silt-, sand- och grusfraktioner. Block och större stenar krossas vanligen till sand och grusfraktion. Borrhäls genom exempelvis en rullstensås ger i stort sett en blandning av sand- och grusfraktioner.

Lerformationer och i viss mån silt bryts till sjök eller klumpar som i vart fall inledningsvis hålls samman av kohe-sionskrafter. Under transporten upp genom borrhäls löses emellertid klumparna upp helt eller delvis och silt- och lerpartiklarna går i suspension i spolvätskan. Detsamma gäller också moränleror.

Hårda sedimentära formationer (sandsten, skiffer, kalksten) samt kristallin berggrund (granit, gnejs, grönsten etc) krossas till fragment och "mjöl". Vad som bestämmer fragmentens storlek beror bl a på bergartens hårdhet, sprödhet, korn- eller mineralstruktur och surhetsgrad för att nu nämna några inverkanse parametrar.

I tabell 6.1 har kaxbildningen, byggd på erfarenhet från provanalys samt teoretiskt vad avser nere-i hålet-processen, sammanställts.

UTGÅNGSMATERIAL	KAXET KOMMER UPP SOM		
A LÖSA OCH HALV-FASTA FORMATIONER	URSRPUNGLIGA BYGGELEMENT (FRAKTION)	GROVKROSS- OCH SKJUV-PRODUKTER (MÄNGD)	FINKROSS-PRODUKTER "MJÖL" (MÄNGD)
Lersediment	(L), (Si)	Rikl klumpar	-
Siltsediment	Si	Bet-obet klumpar	-
Sandsediment	Sa, (Gr)	-	-
Grussediment	Gr, Sa	Obet fragm	-
Steniga grovsediment	Gr, Sa	Bet fragm	Obet
Moräner	Si, Sa, Gr	Bet fragm	Obet
Moränleror	(L), Si, Sa (Gr)	Rikl klumpar	-
Lersten	(L)	Rikl fragm	-
Siltsten	(Si)	Rikl fragm	-
Sandsten, sandkalksten	Sa	Enst fragm	-
Kritkalksten	-	Rikl fragm	Bet
B FASTA FORMATIONER			
Lerskiffer	-	Rikl fragm	Obet
Siltsten	-	Rikl fragm	Obet
Sandsten	-	Rikl fragm	Obet
Kalksten-kristallin	-	Rikl fragm	Bet
Kristallina bergarter såsom granit, gnejs, porfyr, diabas, grönstenar	Enst mine-ralkorn i främst sand-fraktion	Rikl-bet fragm	Bet-Rikl

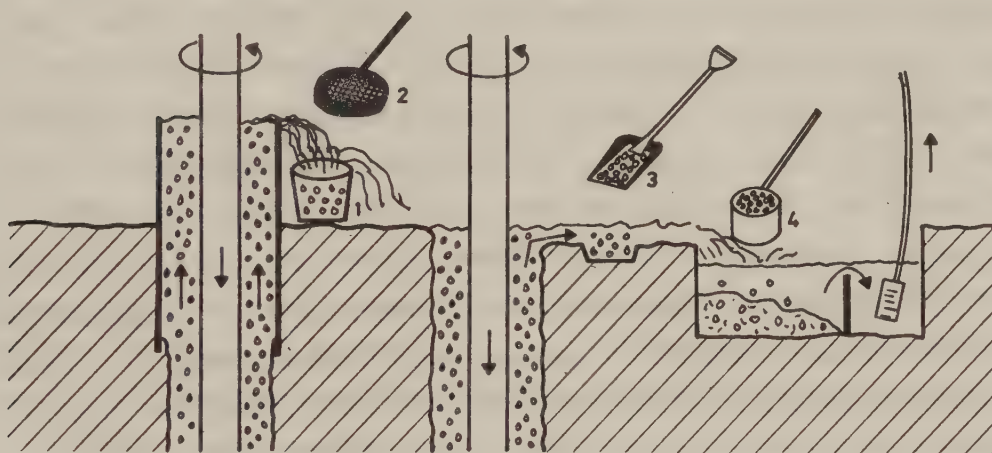
Tabell 6.1 Kaxbildning med hänsyn till olika jord- och berglager. Parantes anger liten mängd.

L = lera, Si = silt, Sa = sand,
Gr = grus, Rikl = riklig, bet =
betydlig, enst = enstaka, obet =
obetydlig, fragm = fragment

6.3.2 Provtagningsteknik och felkällor

Under borrhningen bringas kaxet kontinuerligt till ytan med hjälp av vatten eller vatten med tillsatser, mudd. Antingen strömmar det kaxförande spolmediet upp mellan borrhör och borrhålsvägg (direktspolning), eller också inuti borrhören (omvänd spolning), se kapitel 4 figurerna 4.22 och 4.37. Väl uppe på markytan avskiljes kaxet från spolvätskan, normalt genom passiv sedimentation i först en spolränna och sedan i en sedimentations-eller spolbassäng. Någon gång används siktnät för att avskilja de grövsta kaxpartiklarna innan spolvätskan når sedimentationsbassängen.

Prover tas direkt från siktnät, spolränna eller bassäng, i de två sistnämnda fallen med spade eller liknande. Ibland tas ett helt spolprov i spann eller kärl. Figur 6.4 visar några alternativa provtagningssätt. Tagning av spolprov innebär att provet först måste ges tid att sedimentera innan dekantering, dvs enligt samma princip som vid linstötborrhning.



Figur 6.4 Några i dag vanliga provtagningssätt vid direktspolning. (1) Spolprov i hink. (2) Kaxavskiljning i siktnät. (3) Prov med spade från sandfälla i spolränna. (4) Prov med kärl från botten på sedimentations/spolbassäng

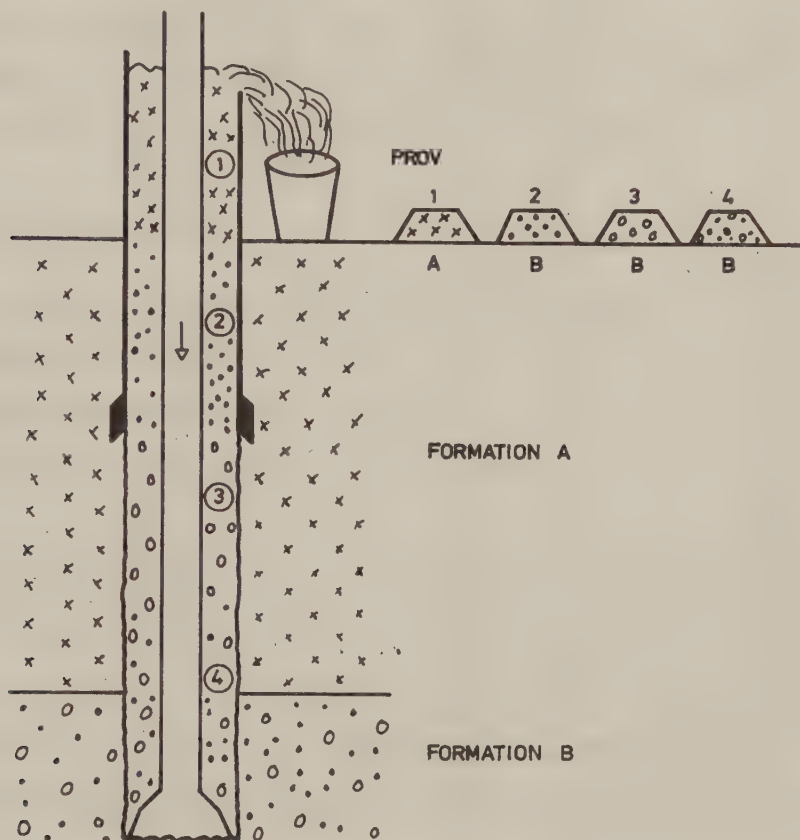
Redan provtagningsmetoderna vid markytan har sina uppenbara felkällor. Dessförinnan orsakar transporten från borrhålsbotten upp till mark förhållanden som ytterligare nedbringar provkvalitén och som måste beaktas med hänsyn till provens tillförlitlighet.

Om man studerar förhållandena då rent vatten används som spolmedel kan inledningsvis konstateras att formationer som vid borrningen ger kax i form av sammanhängande sjok eller klumpar, se tabell 6.1, helt eller delvis löses upp och suspenderas i spolvätskan. Vid borrning i siltiga sediment sker upplösningen relativt omgående. Hur fort denna process går är främst en funktion av transportsträcka och flödes hastighet. Erfarenhetsmässigt kommer obetydliga mängder klumpar upp från borrhjup som överstiger några 10-tal meter, på borrhjup mer än ett 50-tal meter inga alls.

Leriga sediment tål betydligt större transportsträckor och resulterar alltid i en viss mängd sjok eller klumpar. Styva leror tenderar dessutom att sammanbakas till större sjok som ibland kan plugga till hålet och ställa till med borrhningstekniska problem. Detta inträffar främst om borrharen tillåter en allt för snabb borrhjukning. Ur provtagningssynpunkt blir det också problem. Underlagras styv lera av exempelvis ett sandigt grusigt sediment blandas gärna detta med leran och får väl uppe på markytan en sammansättning som liknar en moränleras. I värsta fall uppträder stora spolförluster till följd av pluggningen, vilket innebär att borrningen avbryts och att hålet rensas innan den kan fortsätta. De prover som erhålls vid rensningen är då blandade och mycket svåra att bedöma.

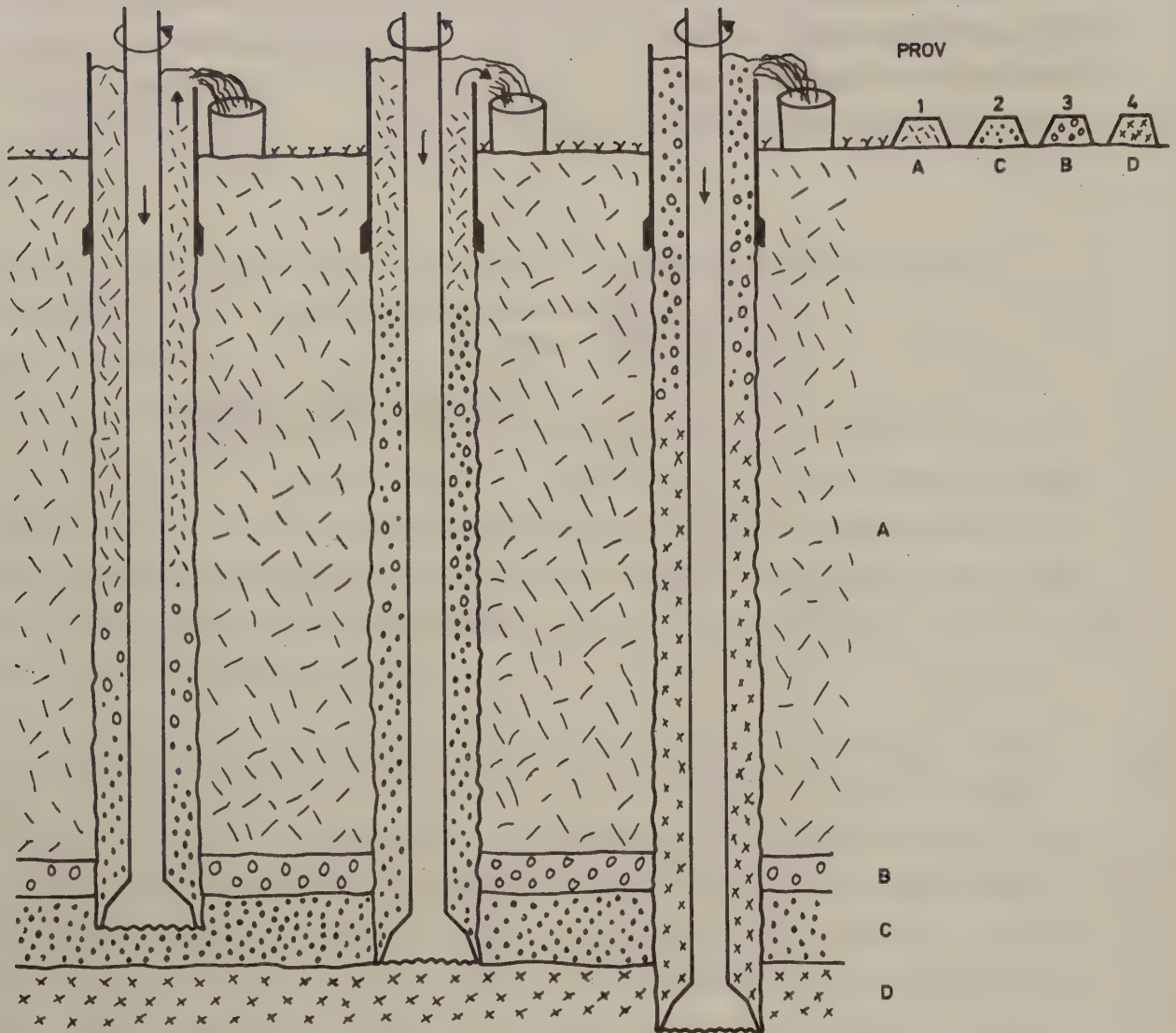
Moränleror och leriga moräner är ofta så starkt konsoliderade att de klumpar som skjuvas loss vid hålbotten håller ihop också under långa transportsträckor. Självt har jag tagit "moränklumpsprover" från djup uppemot 100 meter.

Under upptransporten sker en sortering efter partikelstorlek, form och densitet. De lättare mindre partiklarna når markytan fortare än de större. Detta kan som figur 6.5 illustrerar ge upphov till skenbara lagerföljder.



Figur 6.5 Sortering under upptransport. Skenbar lagerföljd framgår av provhögarna, där proverna 2 och 3 har fraktionerats ut ur formation B.

Samma förhållande kan också ge upphov till omvänd lagerföljd. Dett kan framför allt inträffa vid borrhning på större djup och med tunna lagerenheter, samt stor skillnad i kornstorlek mellan varje lager, se figur 6.6.



Figur 6.6 "Omvänd lagerföljd" till följd av kaxets olika transporthastighet

Teorin bakom dessa förhållanden är att spolvätska alltid rör sig fortare än de partiklar som suspenderats i densamma. Kaxets transporthastighet kan skrivas som (Campbell/Lehr 1974) :

$$V_p = V_v - V_s, \text{ där} \quad 6.1$$

V_p = kaxpartikelns relativa hastighet
 V_v = spolvätskans hastighet
 V_s = kaxpartikelns sedimentationshastighet
 (eng "slip velocity")

Spolvätskans hastighet (V_v) har man möjlighet att välja vid borrhningen. Den bör vara så hög att även stora kaxpartiklar kan bringas ur hålet. Kaxpartiklarnas hastighet (V_p) kan beräknas om man känner spolvätskans lyftförmåga. Förutom kornstorleken inverkar kaxpartiklarnas form och densitet. Vidare spelar spolvätskans viskositet och densitet stor roll. Enligt Campbell/Lehr (1974) kan kaxpartiklarnas sedimentationshastighet (V_s) beräknas empiriskt enligt

$$V_s = \frac{8310 d^2 (D_p - D_v)}{u} \quad 6.2$$

där u = ekvivalent viskositet på spolvätskan

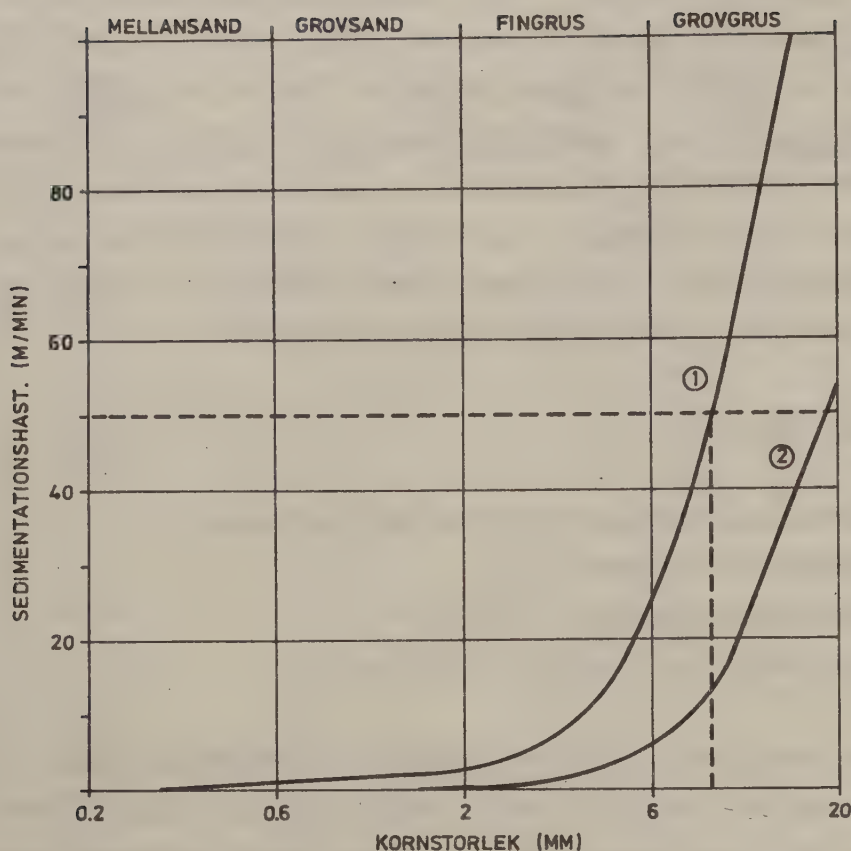
d = partikeldiameter (in.)

D_p = partikeldensitet (lb/gal)

D_v = spolvätskans densitet (lb/gal)

Viskositeten bestämmes som en plastisk viskositetskoefficient i en roterande viskometer. Med koefficienten 70, vilken kan anses gälla för vattenspolning och med partikeldensiteten $2,6 \text{ g/cm}^3$ samt spolvätskans densitet $1,2 \text{ g/cm}^3$, Campbell/Lehr (1974), kan den teoretiska sedimentationshastigheten (V_s) beräknas för olika kornstorlekar, enligt diagram figur 6.7.

Som framgår av diagrammet kommer kaxpartiklar i mellansandsfraktion eller mindre att ha ungefär samma hastighet som själva spolvätskan upp ur borrhålet. En partikel med 2 mm diameter får ca 2,5 m/min lägre hastighet än spolvätskan och en partikel med $\emptyset$ 1 mm bara 0,5 m/min. Vid ca 10 mm partikeldiameter fordras en spolvätskehastighet på mer än 50 m/min för att partikeln över huvud taget skall komma upp ur borrhålet.



Figur 6.7 Kaxpartiklarnas sedimentationshastighet vid vattenspolning (1) och tjockspolning (2)

Appliceras ekvation 6.1 och diagrammet, figur 6.7 på exemplet i figur 6.6 under följande förutsättningar

$$V_v = 50 \text{ m/min}$$

$$\text{Partikelstorlek formation B} = d_B = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Partikelstorlek formation C} = d_C = 2 \text{ mm}$$

$$\text{Djup till topp av formation B} = 50 \text{ m}$$

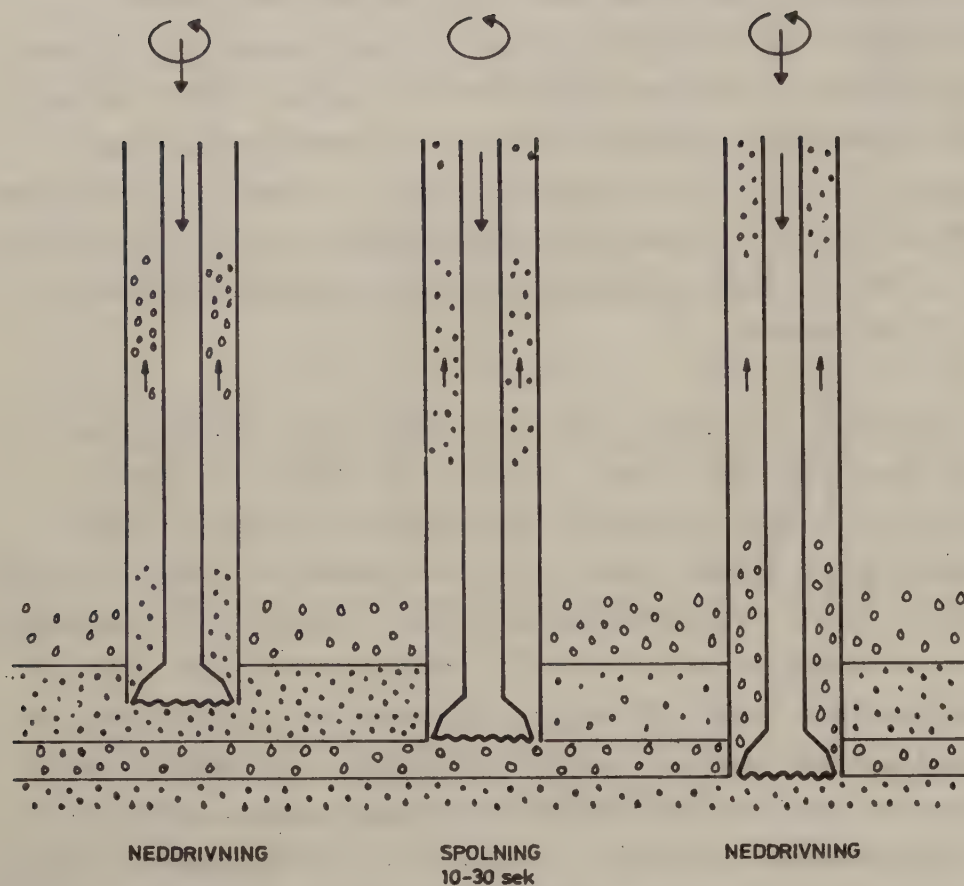
$$\text{Djup till topp av formation C} = 52,5 \text{ m}$$

kan den första partikeln från formation B approximativt beräknas nå markytan med en hastighet av $V_B = 50 - 25 = 25 \text{ m/min}$ och den första partikeln från formation C med hastigheten $50 - 2,5 = 47,5 \text{ m/min}$. Partiklarna från formation C kommer således att nå markytan efter drygt 1 minut, medan motsvarande tid för formation B blir ca 2 minuter.

Det valda exemplet är extremt. Normalt sett är borrhning genom sedimentära bildningar som ger kax i grusfraktion ovanligt. Däremot förekommer ofta växellagring i sandfraktioner vilket i vart fall vid långa transportsträckor ger upphov till kaxsortering. Görs motsvarande räkneövningar på exemplet i figur 6.5, där provet i hög 2 har kornstorleken 0,2 mm och provhögen 3 har 0,6 mm blir den tidsmässiga skillnaden för partiklarnas upptransport från 50 meters djup och med en spolhastighet av 50 m/min ca 12 sekunder.

Det finns i princip två sätt att tillgripa för att undvika felkällor av ovan angivet slag. Det ena är att till spolvätskan sätta medel som förhöjer dess bärande förmåga (eng "bearing capacity"). Detta sker vanligen genom tillsats av ett viskositets- och densitetsförhöjande medel, exempelvis bentonit (lermineral), stärkelse- eller cellulosapreparat. Man får då en s k tjockspolning. För att visa effekten av tjockspolning på sedimentationshastigheten enligt ekvation 6.2 har en mudd med viskositeten 200 (funnel visc) och densiteten $1,5 \text{ g/cm}^3$ (inklusive suspenderat material) lagts in i diagrammet, figur 6.7. Tjockspolningen med för att den "kritiska sedimentationsgränsen" flyttas från ca 2 till ca 6 mm kornstorlek.

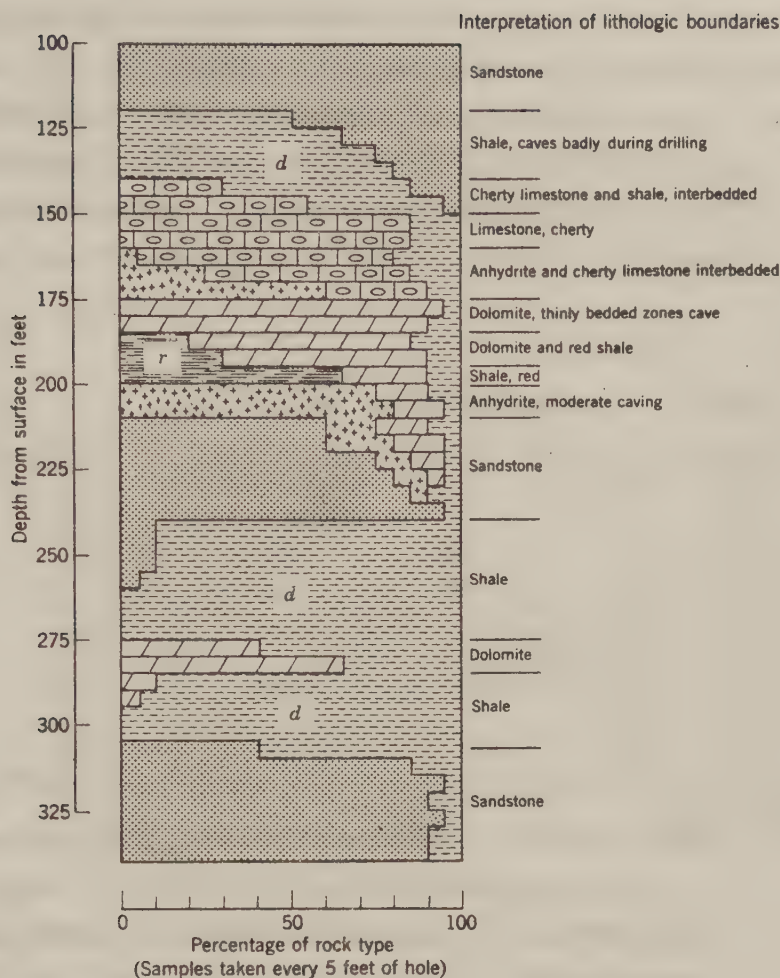
Ur provtagningssynpunkt har dock tjockspolningen andra konsekvenser, se nedan, varför ett bättre sätt att få nivårelaterade prover är att separera kaxtransporten så som figur 6.8 illustrerar. Detta förfaringssätt innebär visserligen att borrhningen går långsammare, men detta skall vägas mot en betydande vinst i förhöjd provkvalitet.



Figur 6.8 Principen för separerad kaxtransport

Utan att använda detta system är det nästan omöjligt att ange från vilken nivå proverna härstammar, särskilt vid borrhning på större djup. Kontinuerlig spolning innebär att proven aldrig blir renodlade, vilket framgår av figur 6.9.

Förutom kaxstorleksberoende fördröjningseffekter inrymmer figuren sannolikt också en annan felkälla nämligen att oinfodrade borrhållsväggar abraderas av den förbipasserande spolvätskan och partiklar från en redan genomborrad formation således kan komma att ingå i proven. Likaledes kan de roterande borrhören slå eller skava loss partiklar från hålväggen.



Figur 6.9

Resultat av kontinuerlig provtagning vid rotationsborrning med direkt vätskespolning. Varje kaxprov representerar ca 1,5 m ("5 feet") och har analyserats avseende procentuell bergartsfördelning ("percentage of rock type"). På grundval av kaxets sammansättning har sedan de litologiska gränserna tolkats ("interpretation of lithologic boundaries"). Davies/ De Wiest (1966)

En annan felkälla utgöres av suspenderade finpartiklar som inte hinner eller kan sedimentera ut från spolningen uppe på markytan utan åter förs ned i hålet. Beroende på bl a spolvätskans viskositet, dess uppehållstid och strömningsförhållande i sedimentationsbassängen kommer halten och kornfördelningen av finpartiklarna att variera.

Tabell 6.2 visar en analys som är gjord på spolvätska (vatten utan tillsatser) som tagits vid en 62 meter djup borrhning genom en jordlagerföljd som framgår av figur 7.24, sid 255. Figuren visar också sedimentationskarets utformning genom vilket spolningen hade en beräknad genomströmningstid av ca 50 sek (volym ca 500 l och flöde ca 10 l/s). Proverna togs vid överfallet mellan som skilda karet i sektioner (se figur 7.24).

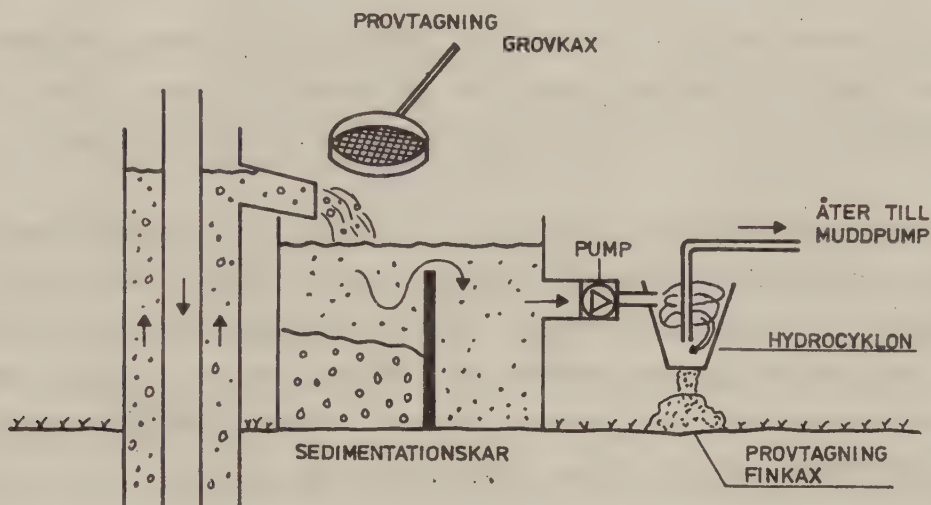
DJUP (m u my)	SUSP (cm)	KORNFÖRDELNING (VIKT-%)			
		Ler	Mjäla	Finmo	>Finmo
10	4,3	12	11	31	46
20	6,8	21	12	47	20
30	10,9	41	23	27	9
40	9,1	27	26	33	14
50	8,7	13	23	53	11
60	6,9	7	10	32	51

Tabell 6.2 Partikelhalt (sedimentpelare i mätglas från en liter spolvätska efter 12 tim) samt kornfördelning (hydrometeranalys) i spolvätska taget före insuget till spolpump. Borrhningen utförd 1971 vid Löddeköpinge i Skåne

Studien visar på en kontinuerligt ökad suspensionshalt vid borrhning genom de lerhaltiga formationerna. Vid övergång till de siltiga sandiga sedimenten reduceras spolvätskans lerhalt samtidigt som siltfraktionerna ökar starkt. Därefter minskar halten suspenderade partiklar ned till dess att borrhningen avslutades på 62 meters nivå.

Det är uppenbart att den suspenderade leran gjort spolvätskan tjockare vilket i sin tur innebär att stora mängder mopartiklar kunde hållas i suspension och återcirkuleras. Nedgången av lerhalt djupare ned beror sannolikt på att leran bildat muddkaka på borrhålsväggen, vilket också förklarar de blygsamma spolförluster som uppträdde, se avsnitt 7.2.2.

Förutom att de cirkulerande partiklarna är en felkälla vid provtagning utgör de också en slitagefaktor på pump, borrhör och borrhkrona. Båda dessa olägenheter kan dock åtgärdas, men det fordrar speciell utrustning, hydrocyklon, som hittills inte kommit till användning i Sverige, figur 6.10. Hydrocyklonens möjligheter som provtagningsinstrument har dock uppmärksammats utomlands (bl a Wilderman 1974 och Ground Engineering 1977).



Figur 6.10 Grovkaxavskiljning med siktnät och finkaxavskiljning med hjälp av hydrocyklon

1978 besökte jag en borrhplats strax norr om Hamburg där man vid en undersökningsborrning för grundvattenuttag använde det provtagningsförfarande som visas i figuren. Enligt geolog på plats var detta nödvändigt eftersom man av brunnstekniska skäl tvingades göra mycket noggrann provtagning främst med avseende på de finkorniga och okonsoliderade sandstenarnas (tertiära sediment) innehåll av silt. Metoden, som hade använts ca två år, hade givit tillfredsställande resultat. Några jämförande studier hade dock inte gjorts. Två hydrocykloner användes, var och en med en maximal mottagningskapacitet av ca 7 l spolvåt-ska per sekund. Spolflödet hölls konstant vid ca 10 l/s. Mängden "utfiltrerat" finkaxmaterial vägdes för var meters borrhning och fördes direkt in i ett protokoll och en del av provmängden paketerades för laboratorieanalys. Grovkaxet, som

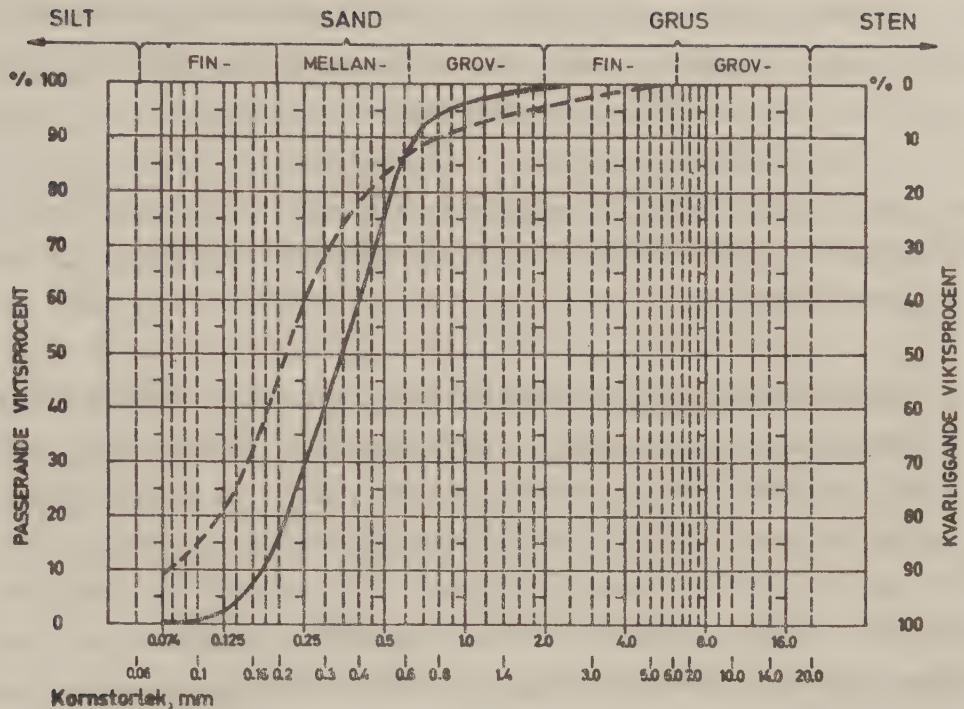
i detta sammanhang var av mindre intresse togs direkt vid spolstrålen i siktnät. Maskvidden kunde varieras, men hölls vid denna borrning på 1 mm. Sedimentationskaret var långsmalt och hade 400 liters volym. Spolvätska utan tillsatser användes. Provtagningen var kontinuerlig och spolhastigheten mättes genom att tillsätta ett färgämne vid spolpumpen. Tiden för detta att nå sedimentationskaret antogs vara kaxets transporttid, som på detta vis relaterades till nivå.

Provtagningsmetoden är onekligen intressant, men som den utfördes här krävdes två man för dokumentationen, som förutom provtagning bestod i manuell mätning av borrsjunkning.

Det normala provtagningssättet i Tyskland är annars betydligt enklare och överensstämmer med det som visas i figur 6.4, alternativ 3. Detta var också provtagningssättet vid en borrning i ett grustag i närheten av Skurup, Skåne. Unikt med denna borrning var att proven direkt kunde jämföras med en ostörd provtagning på samma plats (Perers 1973).

Borrningen utfördes i en sand- och grusavlagring till ett djup av 28 meter. Avlagringen, som genetiskt är en sandurbildning är så homogent uppbyggd att avståndet, ca 2 m, mellan kärnprovtagnings- och rotationsborrhålet endast torde innebära försumbara avvikelser i litologi och lagerstupning.

Figur 6.11 visar kornfördelningen av kax jämfört med kärna, där kaxprovet togs enligt principen med separerad kaxtransport (figur 6.8).



Figur 6.11 Kornfördelningskurvor av borrhax (heldragen) och kärnprov (streckad). Torrsiktsanalys på material <5,6 mm. Kurvorna gäller blandprov från intervallet 17,7-20,7 m u my (Perers 1973)

Jämförelsen mellan kurvorna visar att kaxet blir underrepresenterat på finkornigare material, en felkälla som i detta fall berodde på att de finare partiklarna inte kunde sedimentera i sandfällan. Även grövre partiklar blir underrepresenterade, i detta fall sannolikt beroende på viss nedkrossning eftersom spolflödet hölls vid låg hastighet för att undvika allt för stora spolförluster i den högpermeabla sandurformationen.

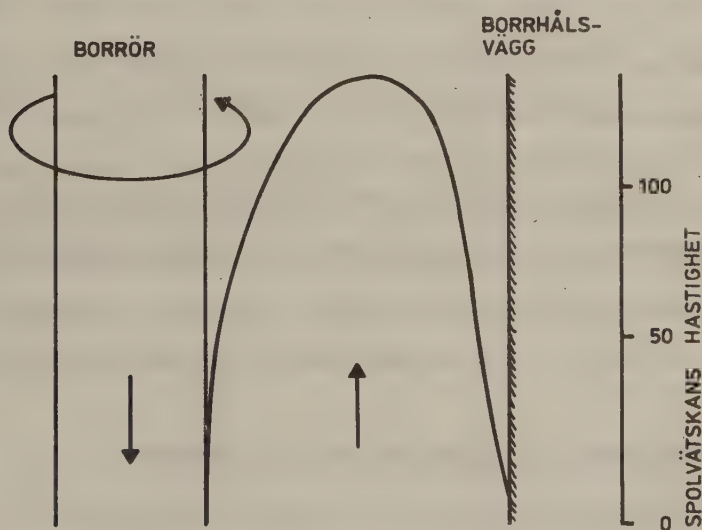
6.3.3 Användande av spolmedeltillsatser

Spolvätskans primära funktion är att transportera upp kaxet och att hålla hålväggen stående genom det hydrostatiska tryck vätskepelaren skapar. Dessutom tjänar spolningen som kylar- och smörjvätska till borrhkrona och pump.

Vid borrhning genom permeabla zoner, exempelvis en löst lagrad grovkornig sandsten, pressas hela eller delar av spolvätskan ut i formationen, och en s k spolförlust uppträder. Om förlusten är stor uppstår problem med kaxtransporten och om den blir total är risken stor att borrhålet rasar.

För att motverka bl a problem med spolförluster tillsätts olika medel till spolvattnet så att en tjockspolning eller mudd erhålles.

Det vanligaste tillsatsmedlet är bentonit, vilket består av ett svällande lermineral av vulkaniskt ursprung (vulkanaska). Bentoniten har den egenskapen att den får en tilltagande viskositet med minskat rörelsetillstånd. Då rörelsen avstannar helt gelar bentoniten. Eftersom flödes hastigheten är lägst och nära nog noll alldeles intill borrhålsväggen, se figur 6.12, kommer det att på hålväggen påbakas ett tunt skikt med gelad bentonit, en s k muddkaka. Bentoniten tränger också in i hålväggens porer och gör att muddkakan tjocknar i nivå med porösa formationer, se figur 4.30. Muddkakan stabiliserar borrhålsväggen och reducerar normalt spolförlusterna till ett minimum.



Figur 6.12

Principiell hastighetsprofil på spolvätskan i utrymmet mellan roterande borrhör och hålvägg (i huvudsak efter Young 1969)

Ur provtagningssynpunkt har tjockspolningen den positiva effekten att den säkrar en oavbruten kaxtransport. Dessutom minskar de separeringseffekter som avhandlats i föregående avsnitt samtidigt som kontamineringen från borrhålsväggen över provtagningsnivån reduceras. Vid påskarfning av nytt borrhör gelar bentoniten och "fryser" kaxet till den plats det har då spolpumpen stängs. Dessa fördelar uppväger dock inte alltid de svårigheter som uppstår vid markytan, då kaxet skall separeras från mudden. Tas prov med siktnät gör muddens höga viskositet att maskvidden måste väljas så stor att bara de allra största kaxpartiklarna fångas. Tas prov i kärl gelar mudden och förhindrar att kaxet sedimenterar inom rimlig tid. Då återstår bara att tvättsikta fram kaxet, vilket kan vara besvärligt i fält. Ovannämnda problem minskar emellertid ju mindre bentonittillsatsen är.

Ur brunnsteknisk synpunkt är gelad bentonit i vattenförande formationer direkt hämmande för brunnskapaciteten. Detta har fört med sig att alternativa gelande och viskositetsförhöjande medel alltmer börjat användas bland främst brunnsborrharna. Dessa s k organiska polymerar består av stärkelse- eller cellulosabaserade kolloida ämnen. De har det gemensamt att gelningsprocessen är styrbar i den meningen att gelningstillståndet kan hållas eller brytas med tillsats av enzymer eller biocider, se vidare avsnitt 4.4.1.3.

I motsats till bentonit förhöjer de organiska substanserna inte vätskans densitet i nämnvärd grad. De flesta som används inom oljeborrning ger högviskös mudd med stor gelstyrka. De som nyttjas inom brunnsborrningen har modifierats att ha sämre gelstyrka men i stället egenskaper som gör att porösa formationer inte sätter igen. Detta uppnås bl a genom att lera och silt inte disintegreras utan behålls i större kolloider och/eller klumpform under transporten upp ur hålet. Kaxet blir då också relativt lätt kan separeras från mudden som dessutom inte kommer att suspendera några större mängder enskilda ler- eller siltpartiklar (eng "low solids fluid")

Ur provtagningssynpunkt har dessa organiska muddtillsatser klara fördelar jämfört med bentonit. De ger ungefär samma borrarstekniska fördelar som bentonit men samtidigt betydligt bättre förutsättningar för provtagning. Av särskilt intresse är att ler- och siltklumpar i hög grad hålls i den storlek som de bildas vid destruktionsprocessen under transporten upp ur borrhålet. Detta borgar för en klart bättre provkvalitet än vid någon annan form av spolning.

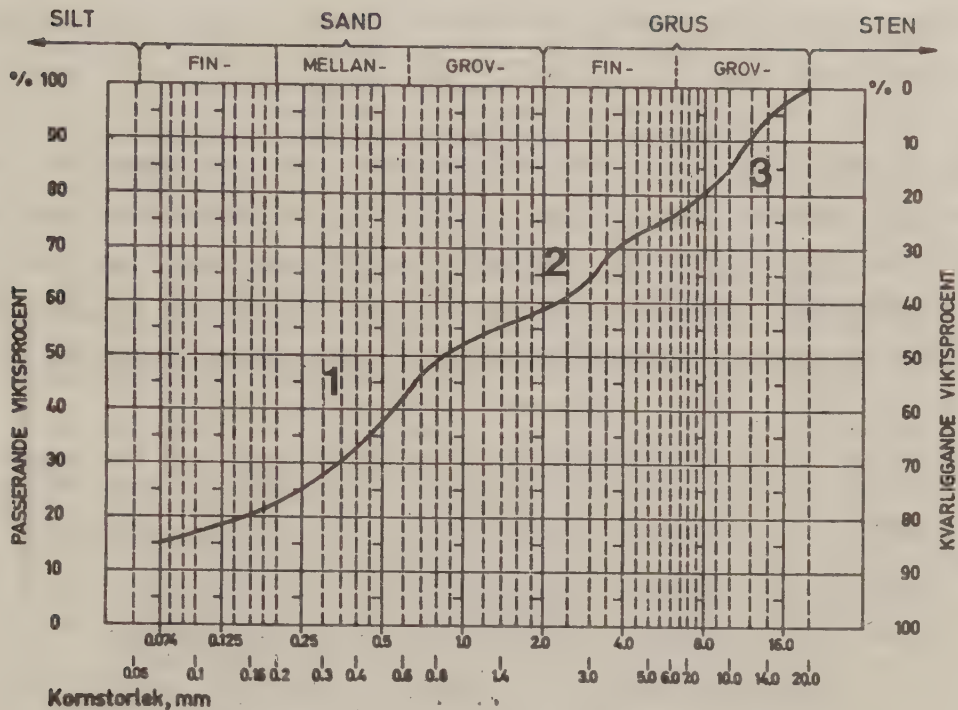
Enligt enkätundersökningen (kapitel 5) använder 50-60 % av de som har utrustning för spolbörning bentonit och ca 20 % andra typer av stabiliseringsmedel, huvudsakligen organiska ämnen. Övriga använder inga tillsatser alls.

6.3.4 En studie av kaxets kornstorlek i förhållande till bergart

I syfte att se om det producerade kaxet från olika sedimentära bergformationer skiljer sig avseende kornfördelning har jag sammanställt ett antal torrsiktsanalyser från olika rotationsbörningar i Skåne, vilka utförts med trekonad rullbörkrona och direktspolning. Hänsyn har inte tagits till parametrar som börkronans tandstorlek och kondition, tryck på kronan, rotationshastighet samt spolvätskans tryck, densitets- och viskositetsegenskaper, varför studien inte är renodlad.

Från sydvästra Skånes kretaceiska kalksten tillhörande danien föreligger 21 analyser. Den genomsnittliga kornfördelningskurvan visas i figur 6.13.

Materialet härstammar från 1970 då jag bl a genom provtagning dokumenterade ett stort antal skotthålsbörningar i sydvästra Skåne. Proven har genomgående tagits med kärll vari kaxet fått sedimentera innan provet togs ut. Som spolvätska användes vatten utan tillsatser.



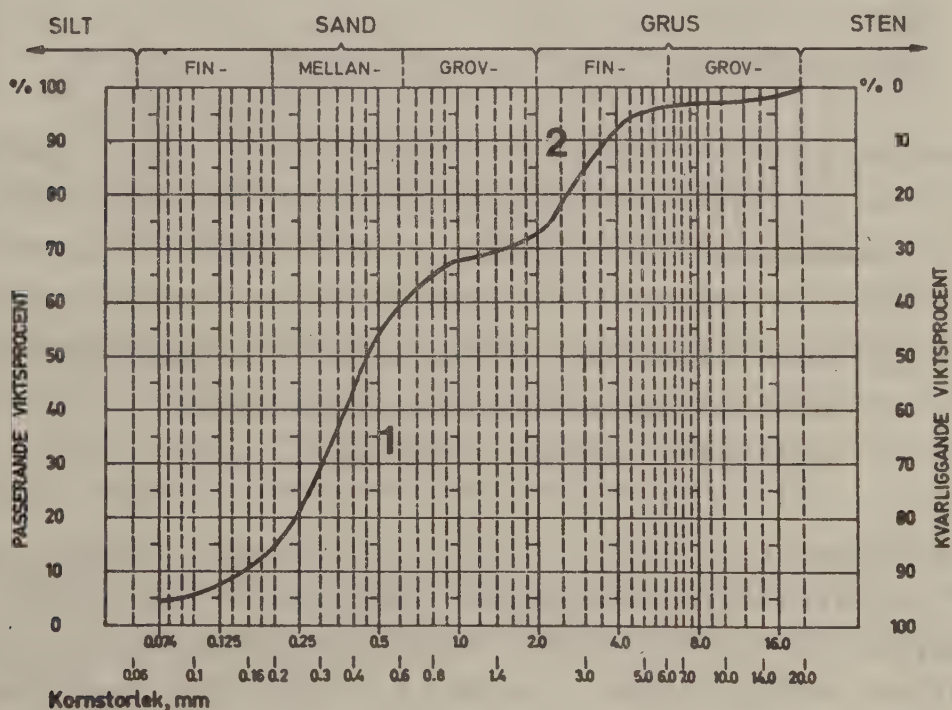
Figur 6.13 Medelvärde för 21 kaxprover från den sydväst-skaniska danienkalkstenen (Torrsikt-analyserat på mtrl <20 mm)

Kornfördelningskurvorna har ofta tre markanta brantare partier, dvs partikelkoncentration. Den första (1) faller i intervallet ca 0,3-0,7 mm och representerar en partikelkoncentration som uppkommer i prover med detritus- och revkalksten. Den ansamling som markeras med (2) i fraktionen 2-4 mm är resultatet av att flinta företrädesvis krossas till denna storlek. Den tredje kaxansamlingen i grovgrusfraktion (3) uppträder dels vid borrhning i sandkalksten och dels i sprickrik kalk. Det senare inträffar oftast i samband med hög flinthalt.

Den vanligen höga halten av finkax, finsand och mindre, är dels resultat av cirkulerande finpartiklar (ackumulerat), men uppträder också vid borrhning i kalksten med hög kiselhalt (s k kiselkalksten).

Från borrning i lerskiffer föreligger 9 analyser fördelat på 3 borrhål, samtliga utförda i skiffer av colonustyp. Provtagningsättet är samma som beskrivits ovan. Motsvarande kornfördelningsanalys, figur 6.14, visar en kaxansamling i två fraktioner, mellansand ca 40 % och fingrus ca 30 %. Finkaxhalten är låg.

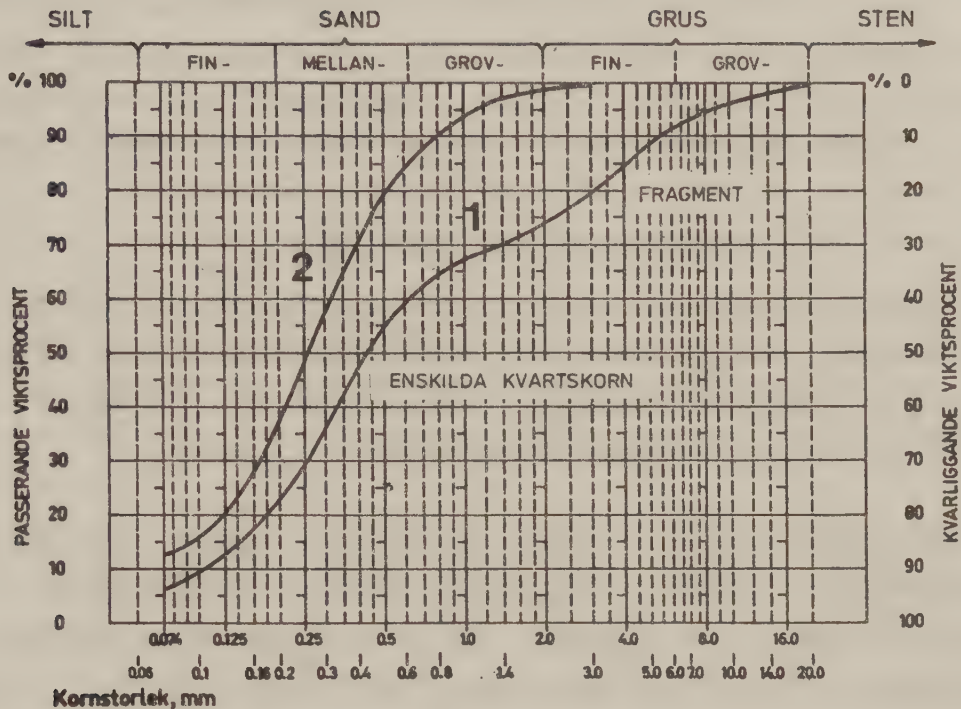
De två ansamlingarna återspeglar möjligen den tudelade destruktionsprocessen på så sätt att krossningen under borrkronans tänder (se figur 3.3) är den mest verksamma och ger kax i främst mellansandsfraktion, medan det skjuvande momentet torde ge större fragment koncentrerat till fingrusfraktion.



Figur 6.14 Medelvärde för 9 kaxprover från colonus-skiffer (torrsiktsanalyserat på mtrl <20 mm)

Ytterligare en bergartsgrupp har studerats avseende kaxets kornfördelning, nämligen Kristianstadsslättens kretaceiska sand- och kalksandstenar. De analyser som sammanställts i figur 6.15 har dels klassats som kalksandstenar (10-50 % CaC_3) och bygger på 13 kornfördelningsanalyser från 3 olika borrhål

och dels som sandsten (0-10 % CaCO_3), med 18 prover också från 3 borrhål.



Figur 6.15 Medelvärde för 13 kaxprover från kalksandsten (1) och 18 kaxprover från sandsten (2) på Kristianstadssläätten (Torrsiktsanalyserat på mtr1 <20 mm)

Sandstenen består av s k glaukonitsandsten, vilken oftast har låg konsolideringsgrad och är lös att borra i. Detta framgår också av kaxproven som inte har några som helst sammanhängande fragment utan består dels av enskilda kvartskorn och dels av gedigna glaukonitkorn, se kurva (2).

Kalksandstenen, som är bättre konsoliderad än sandstenen, uppvisar förutom fria kvartskorn en stor portion fragment där kvartskornen hålls samman av kalkmatrix, se kurva (1).

6.4 Provtagning vid hammarborrning med luftspolning

Hammarborrning eller tryckluftsborrning har metodiskt beskrivits i kapitel 4. Metoden har allt mer börjat användas för undersökningsborrning i både jord- och berglager. I kristallint berg konkurrerar den främst med kärnborrning som undersökningsmetod. Det stora flertalet brunnborrningar utförs med hammarborrning och kan, eftersom lagstadgad protokollföreläring råder, därför klassas som en sorts undersökningsborrning.

6.4.1 Kaxproduktion och kaxtransport

Att använda tryckluft (ibland med skumtillsats) för att driva slagverk och transportera upp kaxet förknippas i Sverige med hammarborrning utan foderrör i fast berg och excenter- eller ringkroneborrning i lösa formationer.

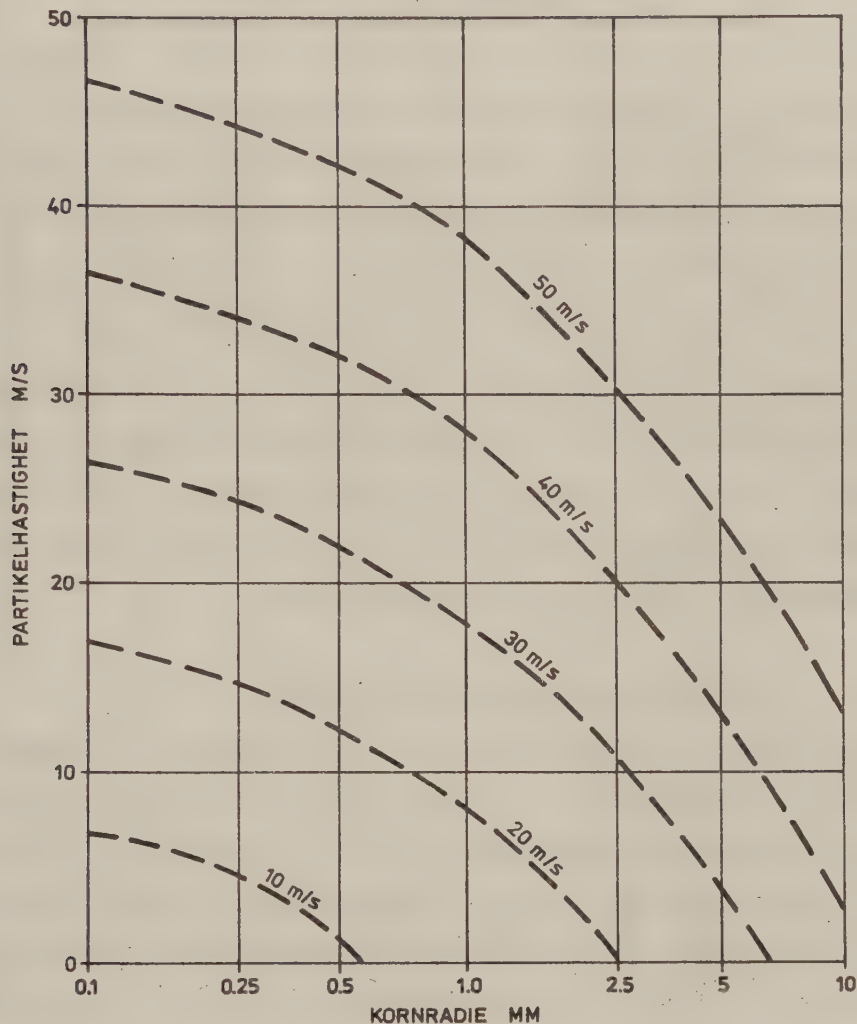
Vid hammarborrning bildas kax på liknande sätt som vid rotationsborrning med rullkrona. Skillnaden består främst i att hammarborrningen är dynamisk och krossningen därför den klart dominerande avverkningsprocessen, se vidare kapitel 3. Destruktionsprocessen torde ge ungefär samma kaxbildning som framgår av tabell 6.1 och skall därför inte vidare behandlas. Däremot ger luftspolningsförelärandet annorlunda förutsättningar för provtagning än vätskespolningen.

Eftersom hammarborrningen inrymmer flera olika metoder kommer förutsättningarna för provtagning att variera något. Gemensamt för metoderna är dock att spolningsförelärandet är direkt, dvs att luften blåses ned genom de roterande borrhören och bringar kaxet till markytan i utrymmet mellan borrhör och hålvägg.

Jämfört med vätskespolning är lufthastigheten extremt hög, oftast ett par tusen meter per minut. Detta innebär att också kaxpartiklarna transporteras till markytan med stor hastighet.

Några publicerade studier av kaxets relativa hastighet gentemot luftströmmens har inte stått att finna i litteraturen.

Enligt en översiktlig analys av Gustafson (1981) kan olika partikelstorlekars hastighet upp ur ett definierat borrhål beräknas vid olika lufthastigheter enligt diagram figur 6.16.



Figur 6.16 En kaxpartikels hastighet upp ur ett 4½" borrhål med 3" borrhåstänger vid olika luftflödes hastighet. Sfärisk partikel förutsättes. (Gustafson 1981)

Som framgår av diagrammet blir transporthastigheten av kax i storleksordningen några sekunder för ett normaldjupt hål. Exempelvis tar det drygt 2 sekunder för en partikel med $\varnothing$ 1 mm att nå markytan från 50 meters djup då lufthastigheten är 30 m/s. En partikel med dubbla diametern ($\varnothing$ 2 mm) blir bara 0,5 sekunder långsammare. Man har således att räkna med såväl

försumbara fördröjningseffekter som tidsskillnader mellan olika fraktioner. Den höga hastigheten innebär att kaxet kan direkt relateras till en bestämd nivå utan transporttidskorrigering. Det förutsättes dock att hastigheten är tillräcklig att lyfta även större partiklar.

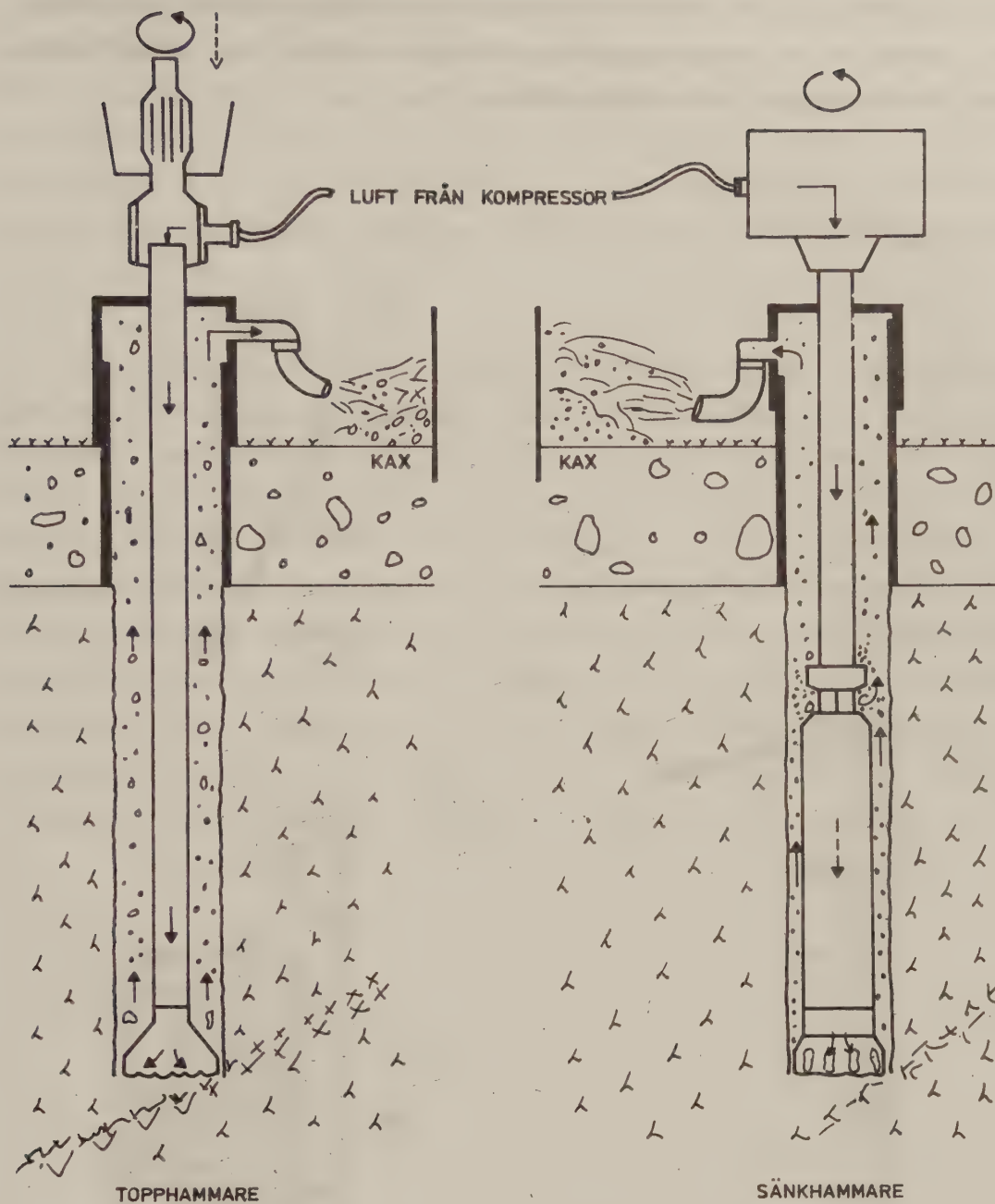
Vid borrning i fuktigt eller vattenmättat material förändras förutsättningarna för kaxtransport väsentligt. Graden av förändring är svår att kvantifiera men blir främst beroende av vilka vattenmängder som involveras. Rent allmänt kan sägas att vatten nästan alltid medför borrningstekniska problem i löst lagrade vattenmättade kohesiva material oavsett vilken hammarbörningsmetod som användes. Inflytning och tilltäppning blir ofta fallet. Tillsats av skum hjälper då oftast, se figur 4. 34. Lösa friktionsmaterial innebär normalt inga sådana problem förutsatt att borrningen görs med samtidig drivning av rör, som excenter-eller ringkroneborrning.

6.4.2 Provtagning - provkvalitet

Uppblåsningen av kaxet varierar med metod. De bästa möjligheterna att få prover med god kvalitet erbjuds vid hammarborrning med topphammarmatning. Som figur 6.17 visar sker vid detta förfarande en direkt upptransport av kax utan några hinder på vägen. Vid sänkhammarborrning, samma figur, utgör däremot själva hammaren en passage som stör upptransporten.

Det trånga utrymmet mellan hammare och hålvägg kan medföra att grova kaxpartiklar hindras komma upp. Kaxet kan också anrikas på hammaren där lufthastigheten minskar. För att undvika fastkilning och andra borrningstekniska svårigheter brukar borrararen därför rensblåsa hålet med jämna mellanrum genom att lyfta och sänka hammaren några gånger. Det kax som då kommer upp till markytan är en blandning som representerar hela det genomborrade intervallet mellan varje rensblåsning.

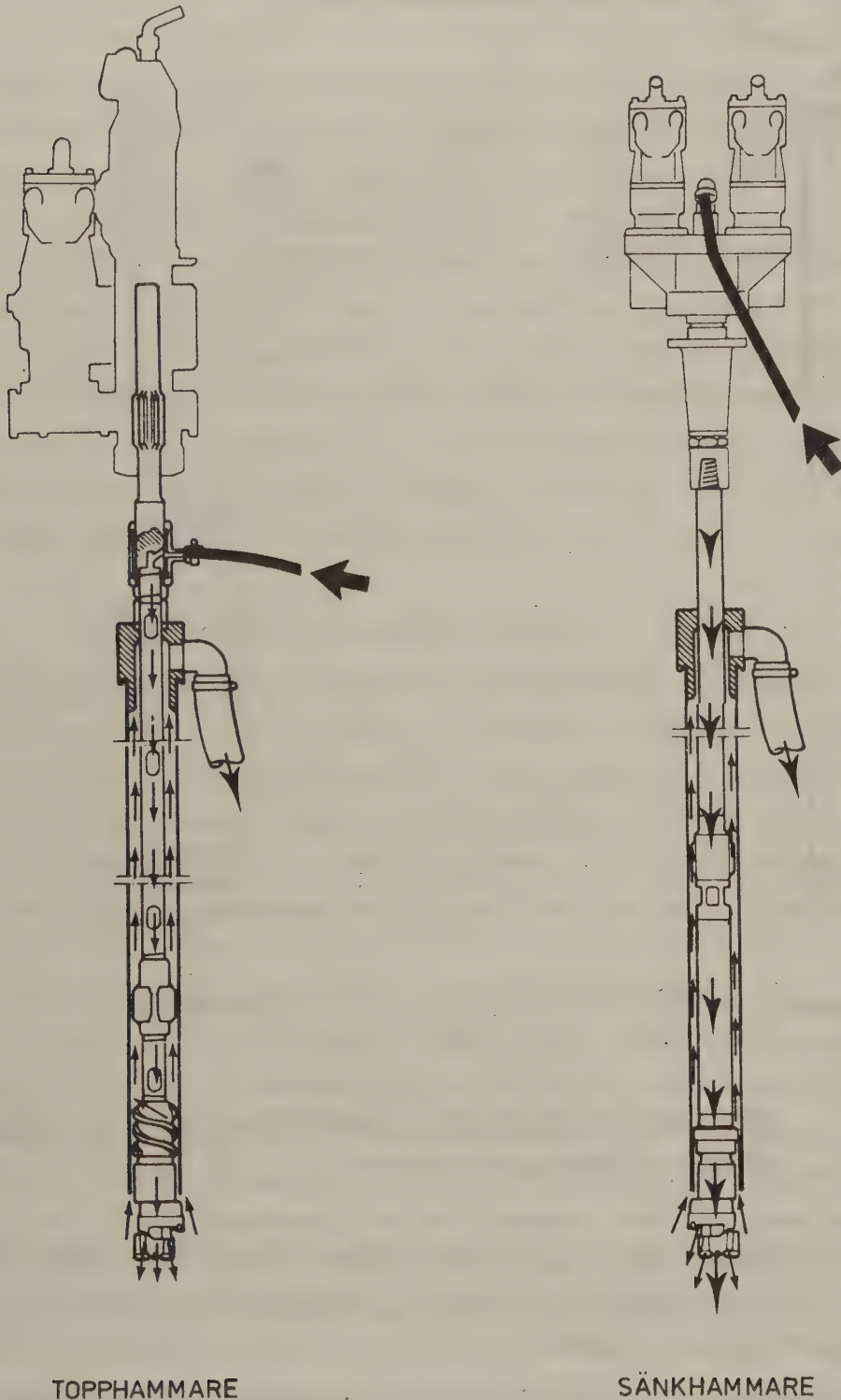
Den höga lufthastigheten i passagen mellan hammare och hålvägg ökar dessutom risken för kontaminering genom att partiklar från hålväggen kan slitast loss och således ingå i det kax som kommer till markytan.



Figur 6.17 Förutsättningar för kaxprovtagning vid topp- resp sänkhammarbörning

Vid ODEX-börning, figur 6.18 fås visserligen inga störningar på grund av hålväggserosion eftersom foderröret förhindrar detta. Å andra sidan innebär nere-i-hålet-utrustningen flera svåra kaxpassager. Bl a filtreras grova kaxpartiklar bort av ODEX-utrustningens sildel. Vid sänkhammarbörning utgör dessutom returspolningskanalerna genom slagöverföringsskuldran ytterligare en trång passage. Det kax som slutligen når mark-

ytan är därför i viss mån filtrerat och sekundärkrossat men också blandat från olika nivåer. Även borrhning med ringkrona inrymmer denna typ av kaxkontaminering.

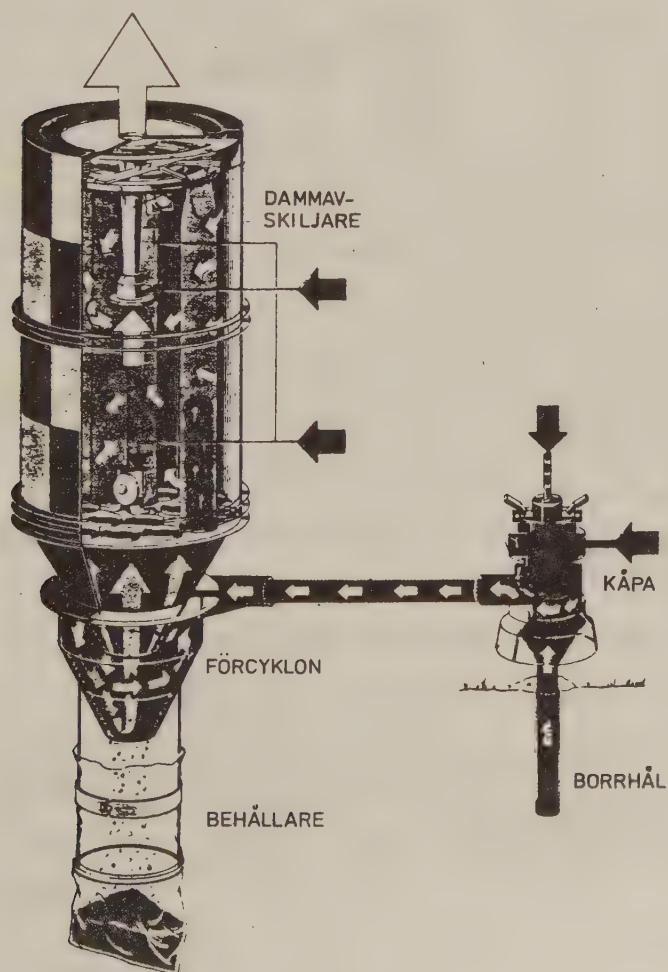


Figur 6.18

Luft- och kaxtransport vid ODEX-borrning med topp- resp sänkhammare (Atlas Copco 1975)

Excenter- och ringkroneborrning används främst vid borrning genom jordlager. Båda metoderna medger goda förutsättningar för ostörd provtagning på valfri nivå, något som dock utnyttjas relativt sällan. I enkäten, kapitel 5, angav 7 % bland brunnsborrhare sig ofta använda kärnprovtagare vid hammarbörning (alla metoder). Motsvarande siffra bland konsulter var 19 %.

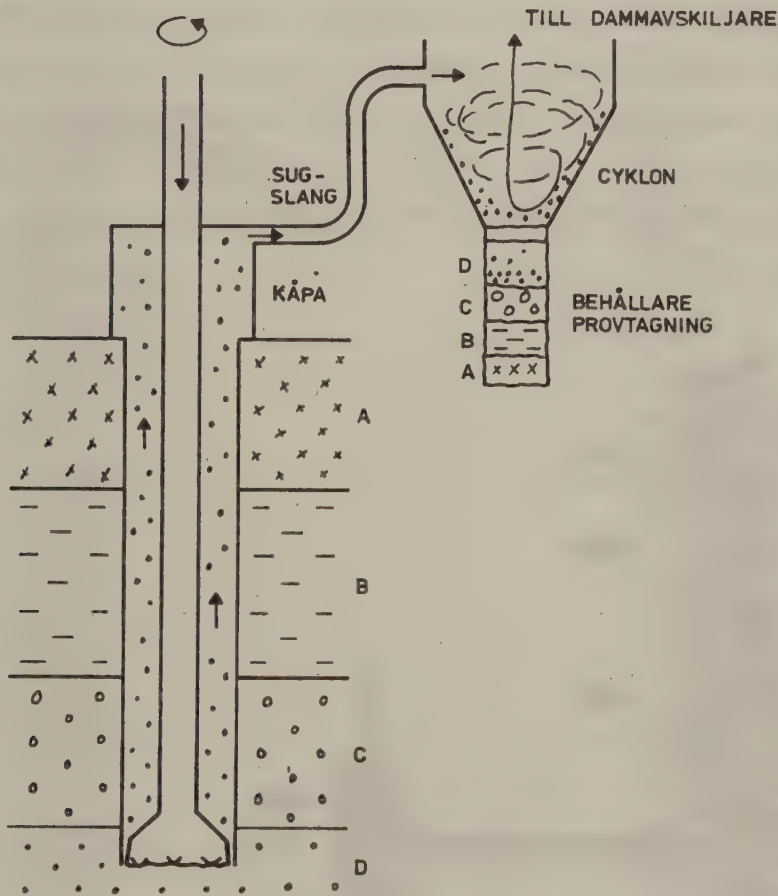
Enkäten visade också att det vanligaste sättet varpå prover tas är med hjälp av "skopa, påse eller liknande direkt vid utblåset", men att man ofta också tar prover direkt från kaxhögen på marken (ungefär hälften så vanligt). Till det förstnämnda fallet hör den s k dammsugaren, en anordning för kaxuppsamling som finns på de flesta hammarbörtrutrustningar. Denna består i princip av en sugkåpa träd över borrhålet, varifrån kaxet sugas via en slang till en cyklon och dammavskiljare. Här separeras först de grövre partiklarna från luften och kaxet får falla ned i en behållare. Det fina dammet fångas i en filteravskiljare, se figur 6.19.



Figur 6.19
"Damsugare" typ
Atlas Copco
(Falkman 1978)

Dammsugarna har utvecklats i syfte att förebygga silikos (stendammslunga) och i övrigt för att ge bättre arbetsmiljö (Falkman 1978), men på köpet kan dammsugaren också användas för provtagningsändamål.

I själva verket kommer de partiklar eller det damm som successivt faller ned i behållaren att omvänt avspegla den lagerföljd som genomborras, se figur 6.20, och en bättre störd provtagningsmetod än denna går knappast att åstadkomma vid borrning med luftspolning. Ett försök med sådan provtagning är beskrivet i avsnitt 6.4.3.



Figur 6.20

Behållaren på luftcyklonen visar den inverterade lagerföljden

Metoden har emellertid en stor begränsning. Den fungerar endast då borrhning utförs i torra jord- och berglager. Så fort ett vattenförande eller vattenhållande lager påträffas förändras provtagningsmöjligheterna högst avsevärt. Dammsugaren är då inte längre brukbar och det blöta eller vattenblandade kaxet får istället blåsas ut antingen fritt ur borrhålet eller också samlat i ett avledningsrör eller slang.

Vid borrhning i vattenhaltiga lösa finkorniga sediment som silt och lera kommer kaxet upp stötvis i sjok eller klumpar och blir svåra att både klassificera och relatera till nivå.

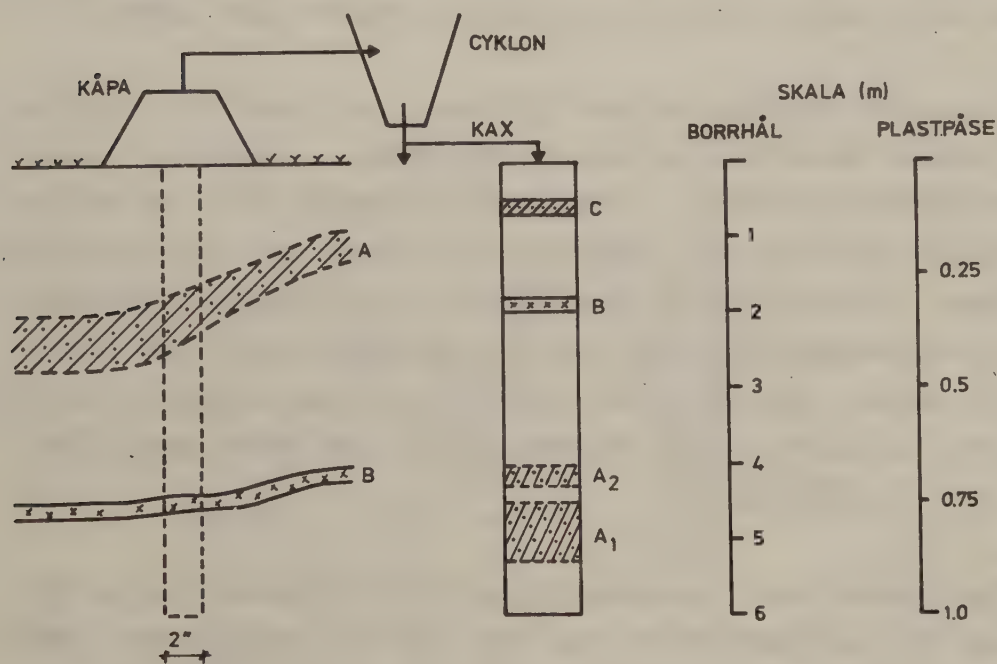
Betydligt bättre provtagningsmöjligheter erbjuds vid borrhning i vattenförande hårda formationer, exempelvis sprickig granit eller fast porös sandsten. Vatteninträngningen till borrhålet blir då oftast så stor att kaxet suspenderas och vattenspolas upp ur hålet. Prover kan då avskiljas vid utblåset i siktnät, spann eller liknande ungefär som vid spolborrning. Här tillstöter dock samma typ av fördröjnings- och sorteringseffekter som tidigare beskrivits för kaxtransport vid vätskespolning (avsnitt 6.3.3).

Sammanfattningsvis kan konstateras att förutsättningarna för provtagning då luft användes som bas för kaxtransporten varierar avsevärt dels med utrustning och borrhmetod och dels med geologiska förhållanden. Det fordras därför god kännedom om den borrhningsteknik som används och viss känsla för vad som händer nere i hålet för att rätt kunna bedöma kaxproven. Kaxets tillförlitlighet som prov betraktat är betydligt sämre känt vid hammarborrning än vad som är fallet vid spolborrning och borde därför bli föremål för särskilda studier.

6.4.3 Luftcyklonen för provtagning, en metodstudie

Som en enkel test att undersöka luftcyklonen som provtagningsinstrument vid torrborrhning gjorde jag en jämförande studie mellan cyklonseparerat kax och den lagerföljd, som kunde karteras direkt på en vertikal pallvägg ca 1,2 m från borrhålet.

Undersökningen utfördes i Siporex stenbrott i Dalby 1977, där skotthålen utfördes med tryckluftsdreven topphammarutrustning och med en 2" stiftkrona. Vid borrningen var en kåpa trädd över hålet och kaxet sögs till en cyklon/dammavskiljare, så som figur 6.20 principiellt visar. Vid cyklonens nederända togs en del av kaxet ut i en 1 meter lång plastpåse. Efter sex meters borrning var påsen fylld med kax som visade den inverterade lagerföljden. Figur 6.21 visar resultatet.



Figur 6.21 Resultat av jämförelse mellan cyklonseparerat kax och bergartfördelning i vertikal vägg 1,2 m från borrhålet

Huvudbergarten i stenbrottet består av rödlätt aplitgnejs. Denna var på platsen genomsatt av en 40-60 cm mäktig markant rödfärgad slira (lager A i figuren) på ca 2 meters djup i den vertikala bergväggen. På ca 4,5 meters djup fanns ett skarpt avgränsat band av mörka mineral (lager B i figuren). Det cyklonseparerade kaxet från borrhålet visar båda dessa lager. Lager A uppträdde redan på ca 1 meters djup och var uppdelat i två enheter (A_1 och A_2) samtidigt som det totalt sett blivit

något mäktigare. Också lager B påträffades på grundare djup i hålet och var väl avgränsat i kaxpåsen. Ytterligare en röd slira, lager C, fanns i kaxet men saknades på pallväggen.

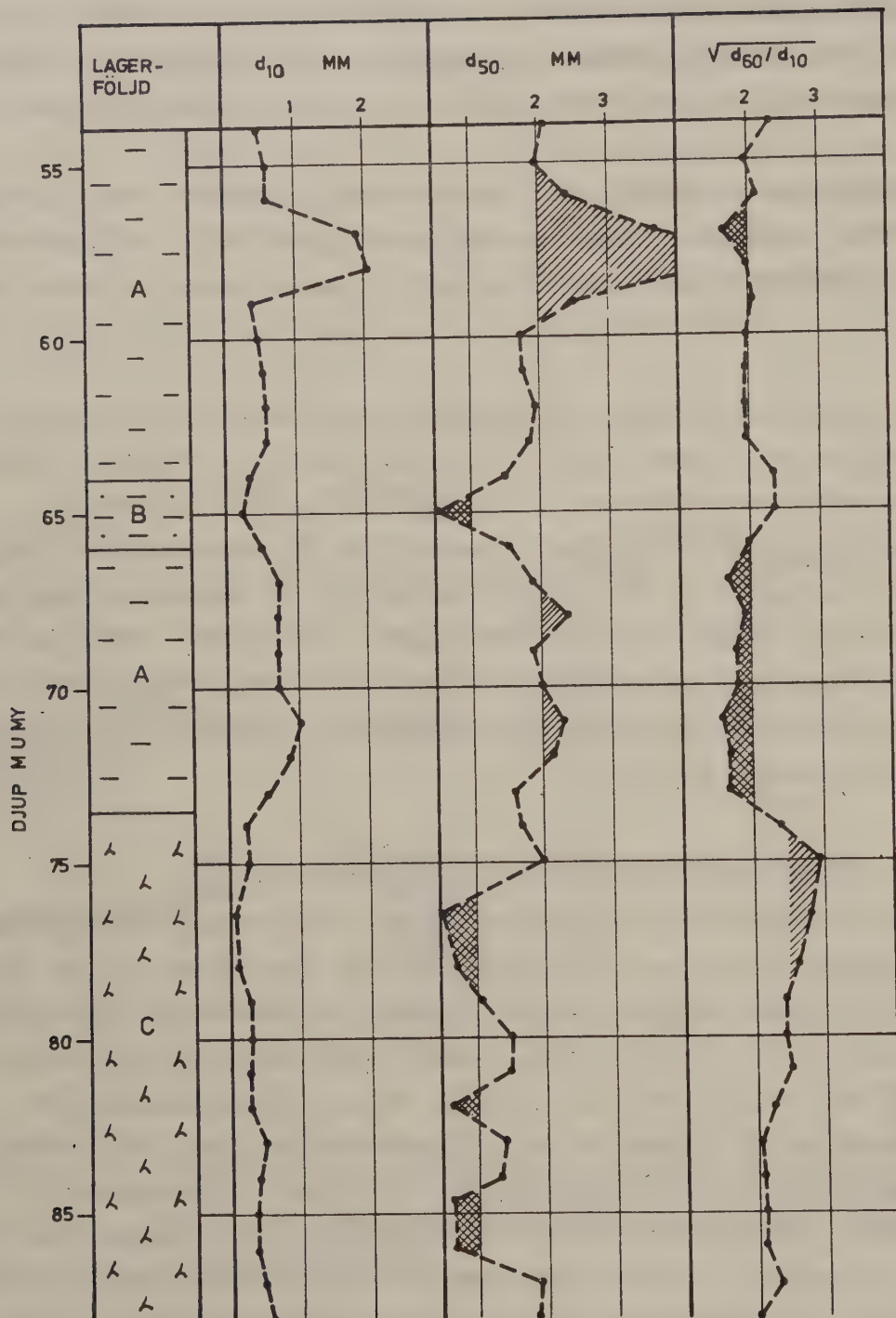
Kaxpartiklarnas storlek, okulärt bedömt, hamnade huvudsakligen i silt- och finsandsfraktion. Större kaxpartiklar sedimenterade runt borrhålet, som följd av att kåpan inte slöt tätt mot marken.

Undersökningen visar att cyklonseparerat kax i mellanfraktioner återspeglar den reella lagerföljden. De färgade skiktens distinkta avgränsning i plastpåsen visar vidare att kontamineringen blir minimal. Denna typ av provtagning borde exempelvis lämpa sig för detaljkartering av bergarter på måttliga djup och under torra förhållanden. Finkaxet borde kunna användas för såväl mineralbestämning som för kemiska analyser. Om också grovkaxet provtas kan en okulär bergartsklassificering göras direkt i fält.

6.4.4 Bergartsbetingad kornfördelning på kax

En undersökningsborrning utförd 1980 vid Tekniska Högskolan i Lund dokumenterades med provtagning och registrering av borrhjunkning. Vidare mättes vattenflödet ur borrhålet vid några tillfällen. Prover togs på var meter med undantag av intervallet 45-53 meter, där inga eller dåligt representativa prover erhöles på grund av borrarstekniska problem. Från och med 54 meter utfördes borrarningen i berg med sänkhammare i dimensionen $4\frac{1}{2}$ ". Prover togs vid utblåset (se exempelvis figur 6.16) i en spann. Efter kaxsedimentation dekanterades vattnet och en del av provmängden togs ut och förpackades i plastpåsar.

Proverna från intervallet 54-88 m har torrsiktanalyserats och bestämts okulärt till bergart. Kaxets kornfördelning visar vissa avvikelser inom en och samma bergart och en större genomgående skillnad mellan olika bergarter. Som figur 6.22 visar framträder bergartsgränsen där lerskiffern övergår i diabas genom att kaxet blir finkornigare samtidigt som sorteringsgraden blir lägre.



Figur 6.22

Kornstorleksparametrar (d_{10} och d_{50}) samt sorteringsgrad (d_{60}/d_{10}) på borrkax från hammarborrning genom (A) lerskiffer, (B) siltfinsandsten och (C) diabas. Analys av undersökningsborrning vid Lunds Tekniska Högskola, 1979

Vid den fortsatta borrhningen i diabasen är tendensen att kaxet successivt får en grövre sammansättning och förhöjd sorteringsgrad. Partier med höga d_{50} -värden på nivåerna ca 75, 80-81, 83-84 och 87-88 meter indikerar sprickighet med ökad vattentillströmning till hålet.

Med undantag av ett sprickirikt starkt vattenförande parti som på nivån ca 57-58 m gav kax med hög andel stora fragment uppvisar lerskiffern relativt stabila kornfördelningsförhållanden.

På nivån ca 64-66 m blir skiffern mjukare och sandigare och i vart fall bitvis utbildad som en silt/finsandsten. Denna gav kax med finkornig sammansättning och något sämre sorteringsgrad än skiffern.

Studien exemplifierar bl a att bergarter av olika litologiska uppbyggnad krossas till kax som i sin mekaniska sammansättning bör kunna sättas i samband med bergarternas mekaniska egenskaper. Även strukturella drag som markerad sprickighet tycks möjligt att kunna påvisa.

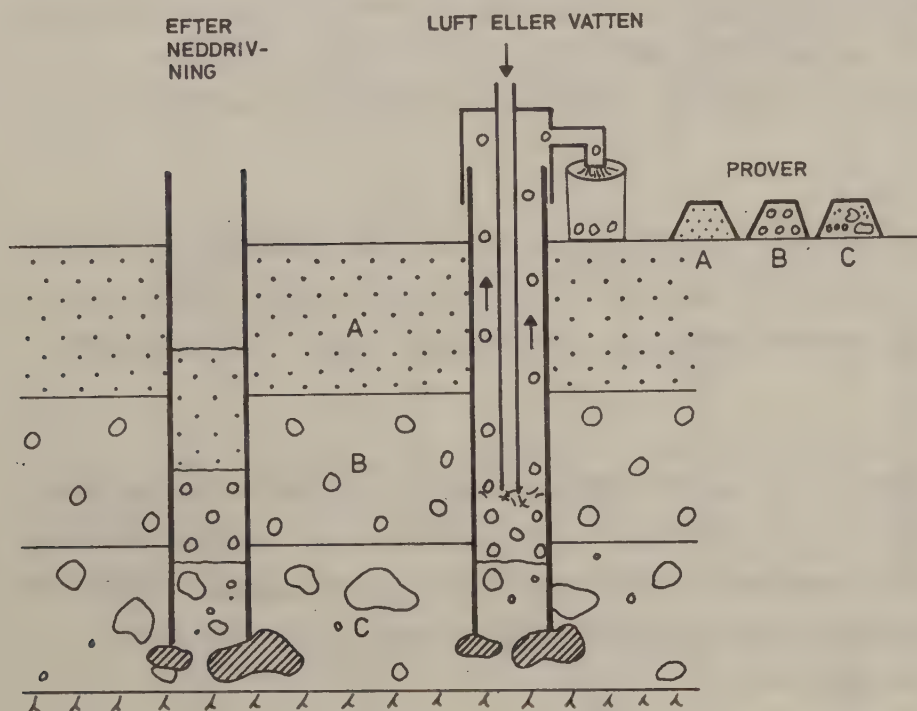
6.5 Provtagning vid rördrivning

Rördrivningen, som den beskrivits i kapitel 4, används till övervägande del i samband med grundvatten- och grustäktsundersökningar. Rördrivningsmetoden fyller flera funktioner. Dels kan den användas i rekognoserande syfte, exempelvis för att lokalisera och kartlägga en sand/grusavlagring, s k rekognoseringsborrning, dels kan rören stå kvar, eller drivas särskilt för mätning av grundvattennivåer, s k observationsrör, vid exempelvis provpumpning, och slutligen kan rördrivningen användas som ren provtagningsmetod "provtagningsborrning" bl a i samband med brunnssprojektering.

6.5.1 Provtagningsmetodik och provkvalitet

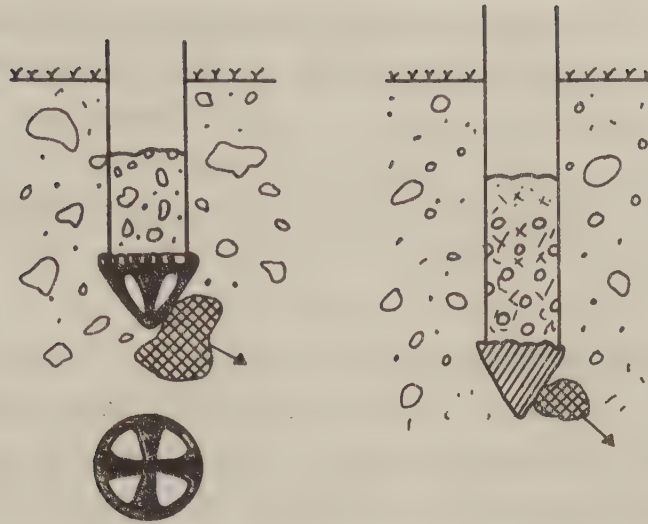
Provtagning sker genom att låta jordmaterialet tränga in i röret antingen genom öppen rörbotten eller genom perforeringar i nedre rörändan. Med jämna mellanrum rensas sedan röret med hjälp av vatten- eller tryckluftsspolning.

Vid inträngning i öppet operforerat rör bibehålles "stansas" det i princip ut en kärna av lagerföljden. När rensningen sedan görs fås materialet till ytan så att skiftningar i lagerföljden blir klart detekterbara, se figur 6.23.



Figur 6.23 Provtagning vid rördrivning med öppen spets.

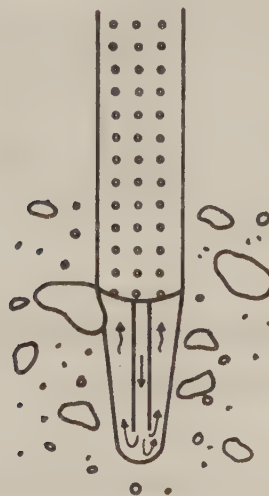
En nackdel med det öppna röret är dock att hålet kan blockeras av också förhållandevis små stenar. Detta undviks om rörändan utformas som en spets med exempelvis fyra inträngningshål, s k "krysspets", eller också en helt sluten spets, men med perforerad rörsida, se figur 6.24.



Figur 6.24

Med s k "Krysspets" (vänster) och sluten spets med perforering i röret (höger) trängs blockerande stenar eller mindre block undan. Proven som tränger in genom hålen i spetsen resp röret får dock begränsad kvalitet

Stopp mot mindre stenar vid drivning med öppet kan också åtgärdas genom s k "underspolning". Metoden, som illustreras i figur 6.25, förutsätter spolning med vatten.

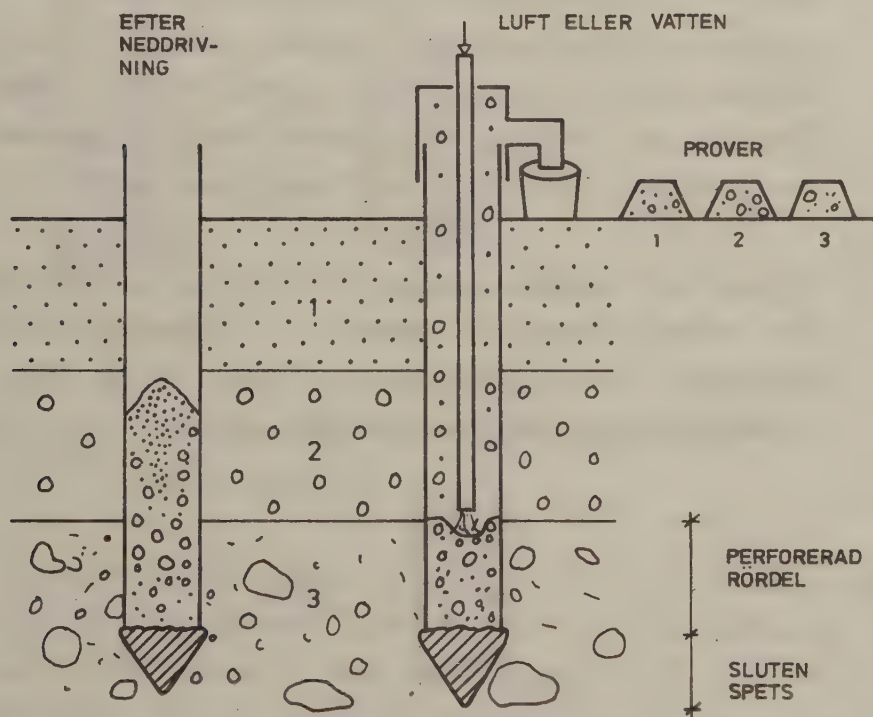


Figur 6.25

Underspolning för att underlätta rördrivning med öppet rör i stenförande formationer (efter skiss av P Wedel 1973)

Vid rördrivning med sluten spets och perforerat rör, vanligen rörets nedre 0,5-1,5 m, väljes hålens storlek efter förväntad kornstorlek. Ju grövre hålen är ju bättre representativitet får proven. Vanligen används 2 mm i finkorniga formationer och upp till 8 mm i grovkorniga. Det ligger alltså i provtagnings-sättets natur att de grövsta kornen blir underrepresenterade i provet.

Jämfört med hålförsedd spets eller öppet rör blir det material som tränger in i röret via sidoperforeringar betydligt mera sammanblandat. Provtagning med perforerat rör ger därför prover av sämre kvalitet, se figur 6.26 (jämför med figur 6.23).



Figur 6.26 Provtagning vid rördrivning med sluten spets och perforerat rör.

Det perforerade röret har dock ett par andra egenskaper som uppväger den sämre provkvalitén. Både den mekaniska och hydrauliska kontaktytan mot jordlagren blir förhållandevis stor, vilket innebär att man under rördrivningens gång kan pumptesta

olika avsnitt i en vattenförande formation.

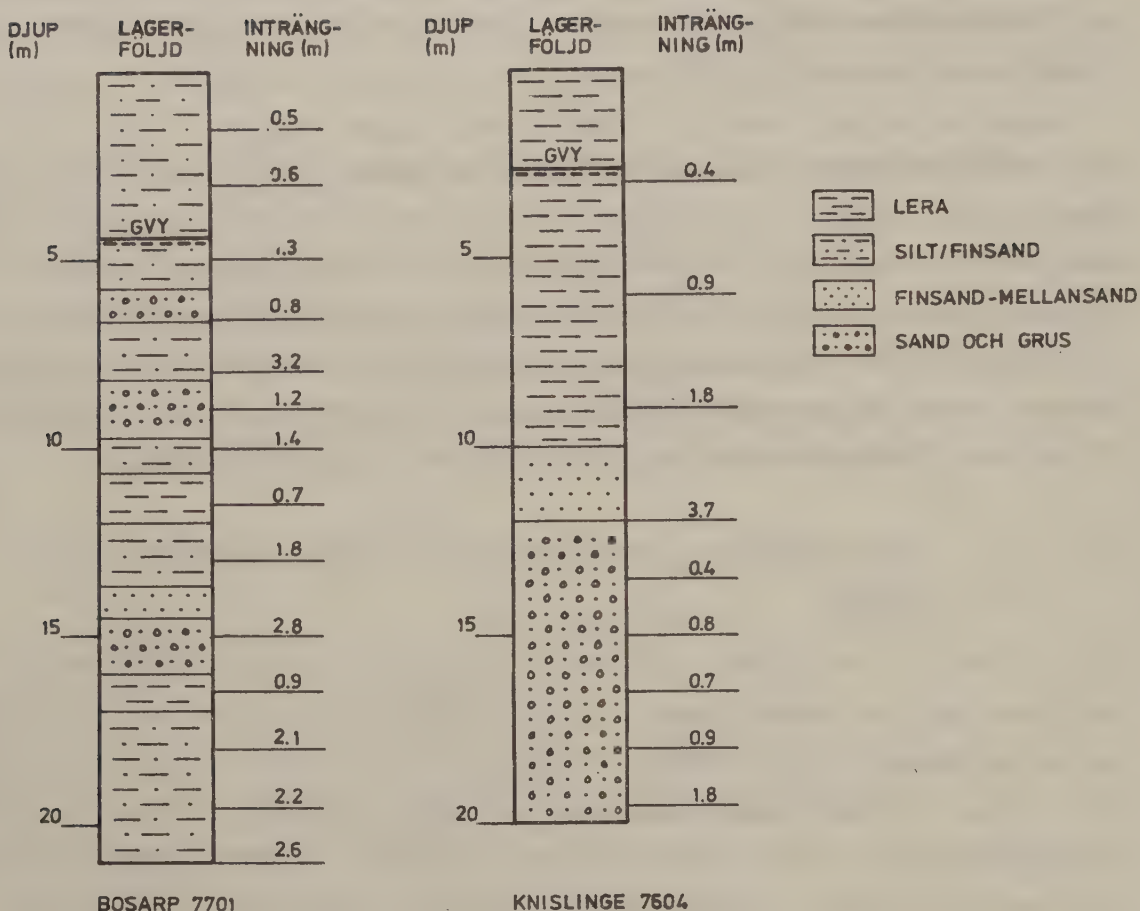
Detta kan också göras vid drivning med öppet rör, vilket i så fall måste vara perforerat i nederändan så som figur 6.25 visar.

Då rördrivningen sker under grundvattennivån är jordmaterialet som blåses eller spolat upp blandat med mer eller mindre stora mängder vatten (vid vattenuppspolning även över grundvattennivån). Det är då av vikt att provtagningskärlet får stå så lång tid innan dekantering att vattnet blir klart. På så sätt kommer även finjordpartiklarna med i provet, vilket är väsentligt bl a vid provtagning för brunnsdimensionering.

6.5.2 Inträngning i perforerat rör under grundvattennivån

Vid rördrivning under grundvattennivån inverkar porvattentrycket på inträngningen i röret. Stora variationer i inträngd materialmängd uppträder oavsett rördrivningen sker med öppet rör eller sluten spets och perforerad rörända. Erhållen materialmängd per neddrivningslängd varierar primärt med kornstorlek men sekundärt inverkar det rådande grundvattentrycket.

Figur 6.27 visar resultatet av ett par mätningar som gjorts på inträngning i ett perforerat rör med sluten spets. Perforeringen bestod i dessa fall av 4 mm hål och den perforerade längden var 1 m.



Figur 6.27

Materialinträngning genom 1 m perforerat rör med håldiameter 4 mm. Lagerföljd upprättad på grundval av uppspolade prover och resultat av borrsjunksmätning. Strecket under mätvärdet markerar spetsens läge vid mättillfället

Som framgår av mätresultaten är det främst de flytbenägna silt- och finsandsfraktionerna som tränger in i röret i betydligt större mängder än vad neddrivningslängden motiverar. Sedimentär lera ger vanligen volymunderskott jämfört med neddrivningslängden, liksom de sandiga grusiga sedimenten. Som antyds i exemplet från Knislinge torde inträngningsmängden i sandiga grusiga formationer direkt återspegla kornstorleksvariationer, se nivå 12-20 meter i figuren.

De här påtalade skillnaderna i materialmängd som kommer in i röret vid drivning främst under vattenmättad zon innebär en beaktansvärd felkälla. Då den perforerade rörlängden exempelvis drivs genom ett växellagrat silt-sand-grusmaterial kommer i vart fall teoretiskt sett finfraktionerna att få en överrepresentation i uppspolat prov.

En annan felkälla, erfarenhetsmässigt uppmärksammas (Lindberg 1980) kan uppträda då man först drivit och rensat röret i flytbenäget finsediment för att därpå komma ned i ett grovsediment. Ibland kan då en större mängd finsediment spolas upp ur röret innan det grövre materialet ger sig till känna. Förhållandet kan förklaras med att det, efter den första rensningen och innan neddrivningen i det grövre materialet, hinner flyta in betydande mängder av finmaterial. Detta möjliggörs genom att röret vid rensningen tömts på såväl vatten som material och att ett hydrostatiskt undertryck då skapats.

6.5.3 Jämförelse av provkvalitet med hänsyn till provtagningsspets

I samband med den kärnprovtagning som gjordes i ett grustag i Skurup, se sid 176, utfördes också en jämförande studie av provtagning med olika spetsar, där proven jämfördes kornstorleksmässigt med prov uttagna från kärnan (Perers 1973).

Sammanlagt testades fyra olika spetsutformningar vid lika många rördrivningar, vilka utfördes med 2" rör och enligt metod som framgår av figur 6.23. Proven spolades upp med tryckluft. Det vattenblandade kaxet samlades i en hink och fick sedimentera innan provtagningen.

Kärnprovtagningen utfördes med en tysk provtagare benämnd "Schlagkerne", konstruerad så att det utstansade provet kontinuerligt inneslutes i en plastfolie. Provtagningen gjordes med tre meters intervall och i dimensionen 2". Från den ostörda kärnan uttogs prover från nio olika nivåer. Dessa har kornstorleksanalyserats (torrsiktning) och jämförts med prover från motsvarande nivåer tagna vid rördrivningarna. Samtliga rör-

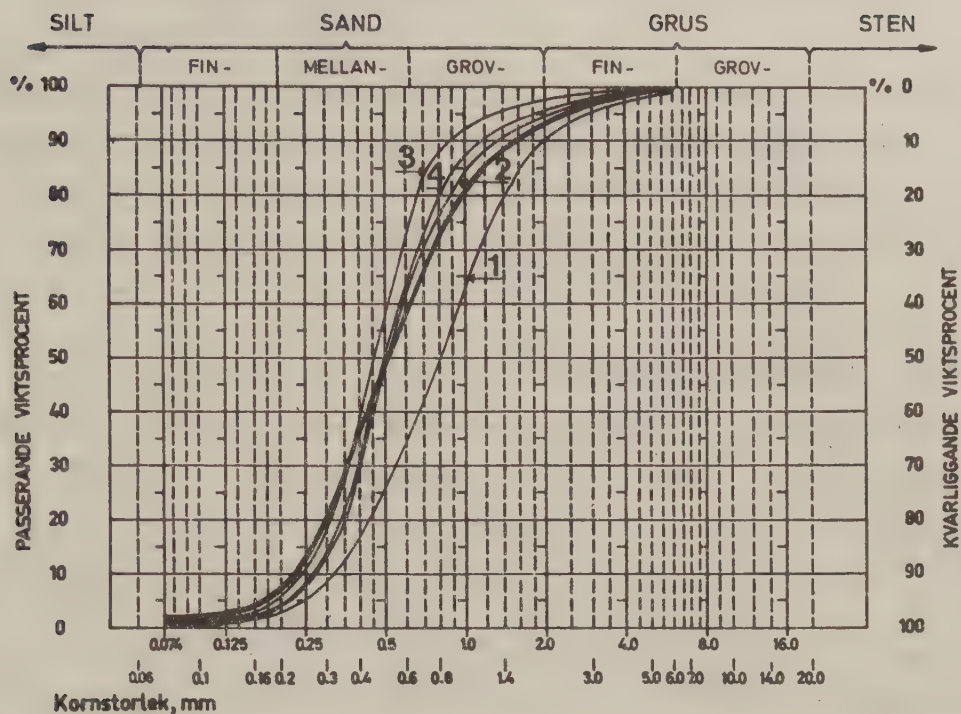
drivningar utfördes på ett avstånd från kärnborrhålet som var 2-3 meter.

Följande spetsutformningar användes:

- 1) Sluten spets, nedre 2 dm rörända perforerad med 8 hål $\emptyset$ 20 mm
- 2) Spets med 2 hål $\emptyset$ 20 mm och 4 hål $\emptyset$ 20 mm på nedre 2 dm rörända
- 3) Spets med 2 hål $\emptyset$ 20 mm
- 4) Spets med 4 triangulära hål, s k "krysspets", se figur 6.24.

Analysen visade att samtliga spetsar, trots att materialin-trängningshålen var 20 mm, gav prover som var klart under-representerade på material $>ca$ 8 mm. Detta kan delvis för-klaras med att de finare partiklarna har större flytbenägenhet och rörlighet än de grövre.

Om kurvorna korrigerades att gälla för material $<5,6$ mm er-hölls dock en god överensstämmelse mellan kärna och spets-provtagningen för de flesta nivåerna, vilket exemplifieras i figur 6.28, som gäller nivån 11,2-11,9 m u my.



Figur 6.28 Kornfördelning av prov från kärna (grov heldragen kurva) jämfört med prov från spetsarna 1-4 (se text). Torrsiktanalyserat på material <5,6 mm (Perers 1973)

Jämförelsen mellan de olika spetsarna beräknat som avvikelse från kärnan och på material <5,6 mm, visar som i figuren att spets nr 1 har den största avvikelsen vad gäller kornfördelning uttryckt som d_{10} - och d_{60} -värden. Minst avvikelse uppvisar spets nr 4 (krysspets). Vad avser sorteringsgraden, d_{60}/d_{10} , har spets nr 3 den största avvikelsen, medan övriga är ungefär likvärdiga, se tabell 6.3.

Spetsutformning	Analysvärden		
	d_{10} (mm)	d_{60} (mm)	d_{60}/d_{10}
1) Sluten, perf. rör- ända 8 hål à 20 mm	0,03	0,14	0,29
2) Spets 2 hål à 20 mm perf. rörända 4 hål à 20 mm	0,04	0,10	0,27
3) Spets 2 hål à 20 mm operfor. rörända	0,04	0,10	0,39
4) Spets 4 triangul. hål, operf.rörända	0,03	0,05	0,31

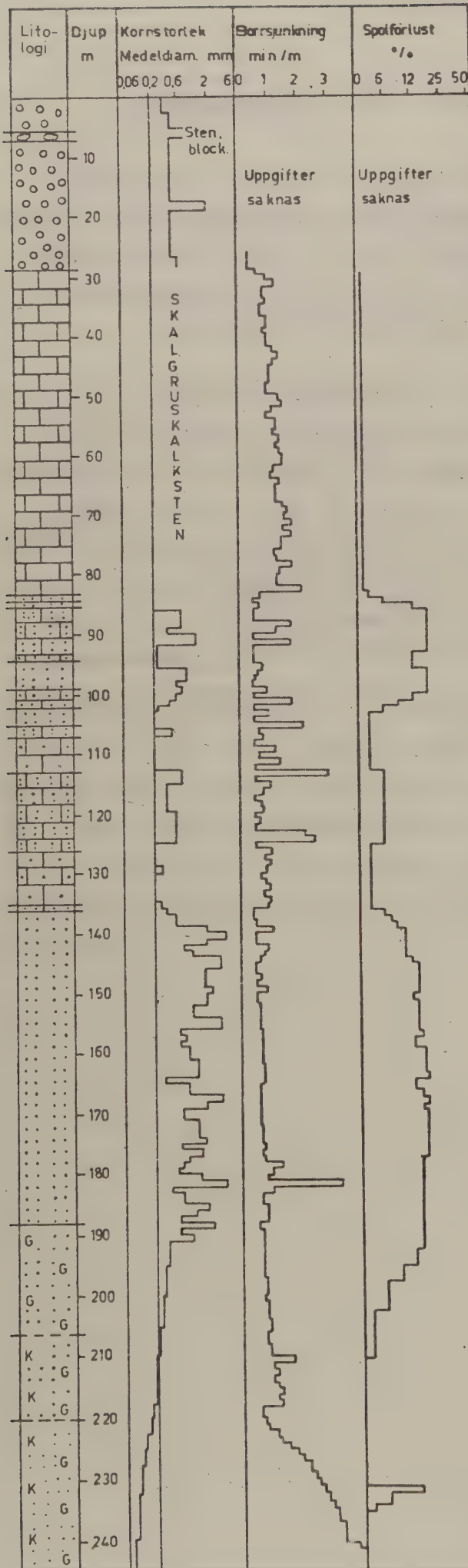
Tabell 6.3 Kornfördelning för olika spetsar som d_{10} - och d_{60} -värden samt sorteringsgrad uttryckt som medelvärde på avvikelse från kärnprover. Beräknat på nio analyser/spets (Perers 1973)

Avvikelserna på såväl d_{10} som d_{60} är i de flesta fall på den positiva sidan, dvs värdena blir vanligen för höga jämfört med kärnproven, vilket i detta fall innebär en överrepresentation av främst mellansandfraktionen. Skillnadererna är dock inte större än att de kan förklaras på annat sätt, såsom litologisk avvikelse mellan borrhålen och olikheter vid provtagningens utförande.

7 MÄTNING AV BORRSJUNKNING OCH SPOLFÖRLUSTER I DOKUMENTÄRT SYFTE

Provtagning är oftast inte tillräckligt för att till fullo dokumentera de jord- och berglager som genomborras. Som visats i föregående kapitel blir provens kvalitet och tillförlitlighet varierande alltefter vilken borrhningsmetod som användes och sättet varpå borrhning och provtagning utförs.

Olika borrhningsmetoder inrymmer olika potentiella möjligheter till registrering av andra RUB-parametrar än enbart provtagning, se figur 6.1. Provtagningen ger i bästa fall en uppfattning av jord- eller bergartens mekaniska och mineralogiska sammansättning. Breddas dokumentationen av borrhningen till att också specifikt för varje metod innefatta parametrar som borrhsjunkning, spolförluster, vattenflödesmätning etc, erhålles kompletterande data som dessutom berättar om det genomborrade materialets egenskaper. Figur 7.1 utgör ett exempel på detta.



TECKENFÖRKLARING

-  Sand
-  Sten, block
-  Kalksten
-  Sandkalksten
-  Kalksandsten
-  Sandsten
-  Glaukonitsand
-  Kaolinblandad glaukonitsand
-  Mosten med glaukonit och kaolin

Figur 7.1 Resultat av undersökningsborrning baserat på provtagning samt registrering av borrsjunkning och spolförluster vid rotationsborrning med direktspolning (Borrning vid Borrestads gods, Skåne) 1973

7.1 Borrsjunktionsparametern. Allmän introduktion

För att sönderdela en bergart eller tränga undan en jordart krävs en bestämd mängd energi, vilket tillförs borrkronan vanligen genom tryck, slag och rotation, se kapitel 3. Ju större motstånd jord- eller bergarten gör mot sönderdelningen eller undanträngningen ju större energimängd måste tillföras per borrlängd om borrhets sjunkhastighet skall hållas konstant. Om man å andra sidan låter energitillförseln vara konstant kommer istället sjunkhastigheten att variera med borrhetsmotståndet. Genom att mäta sjunkhastigheten under kontrollerad energitillförsel kan således siffervärden över jordens eller bergets borrhetsmotstånd erhållas. Detta motstånd kan sedan sättas i samband med det genomborrade materialets mekaniska egenskaper.

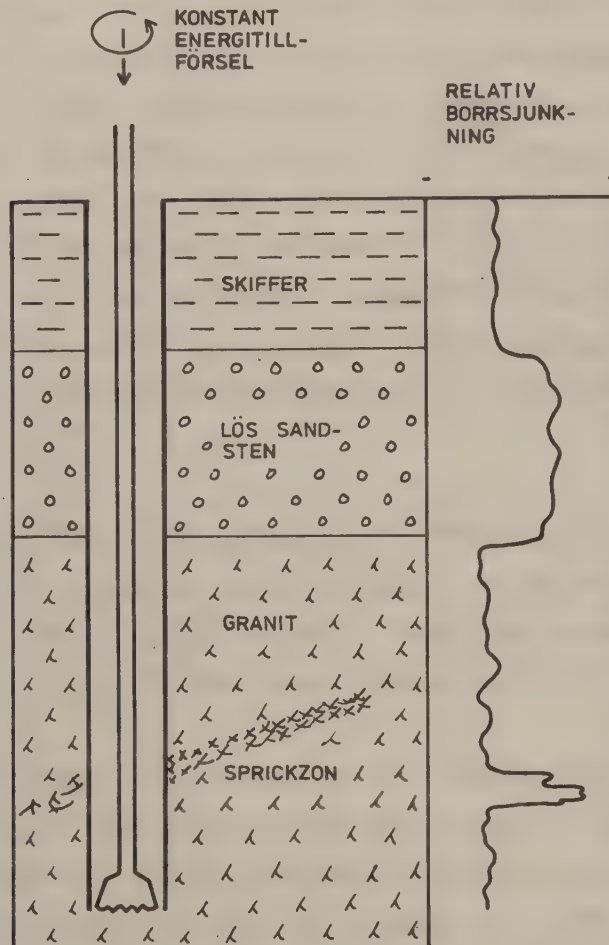
Vid bergborrning får man exempelvis en snabb borrsjunkning i lös sandsten, medan en granit ger betydligt lägre borrsjunktionsvärde. Öppna sprickor i samma granit ger däremot självfallet extremt hög borrsjunkning, se figur 7.2.

Inom oljeborrningen har man sedan länge uppmärksammat att produktiva zoner oftast kan förknippas med snabb borrsjunkning. Detta är en av anledningarna till att denna parameter numera alltid mäts. En annan är att borrsjunktionsparametern tillsammans med andra mätningar kan tjäna som ett instrument att detektera formationer med abnorma övertryck redan innan de nås, vilket gör att oväntade s k blowouts kan undvikas.

Även inom brunnsborrningen uppmärksammas borrsjunkningen och protokollförs. Bedömningen är oftast okulär och beskrivs i begrepp som "hårt", "fast", "löst" etc.

Såväl inom olje- som gruvindustrin föreligger ett behov av att beskriva olika bergarter i ett borrhetsbegrepp, främst ur bergmekanisk synvinkel. Ett sätt att klassificera bergarternas borrhetsmotstånd är att mäta borrsjunkning under strikt kontrollerade former. Här föreligger exempelvis ett stort behov att

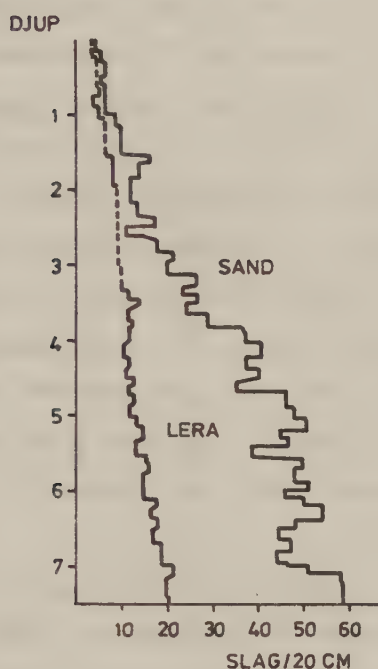
kunna förutse indriftshastigheten vid bl a tunneldrivning i berg. Ett stort antal s k borrarbarhetsindex har av denna anledning skapats under de sista åren (Adolfson/Rånman 1978).



Figur 7.2 Exempel på borrarjunkningens beroende av olika bergformationers borraringsmotstånd. Principbild

Vid borrarning i jordlager påverkas borrarjunkningsförloppet av materialparametrar som kornstorlek, porositet, packningsgrad och vattenhalt. En redan etablerad tillämpning förekommer inom geotekniken. Här används nedträngningsmotståndet, dvs borrarjunkningen, för att med relativa värden mäta jordparametrar vid både dynamisk och statisk sondering.

"Sonderingsmotståndet" sätts främst i samband med material-egenskaper som "packningsgrad", "lagringstäthet" och "fasthet" (Bergdahl/ Dahlberg 1973). Figur 7.3 exemplifierar hur sonderingsmotståndet varierar i olika material i detta fall lera och sand.



Figur 7.3 Dynamisk sondering under konstanta maskinella betingelser i lera och sand. Leran har ett betydligt lägre sonderingsmotstånd än sanden (förenklat efter Bergdahl/ Dahlberg, 1973)

7.1.1 Borrsjunkning vid rördrivning

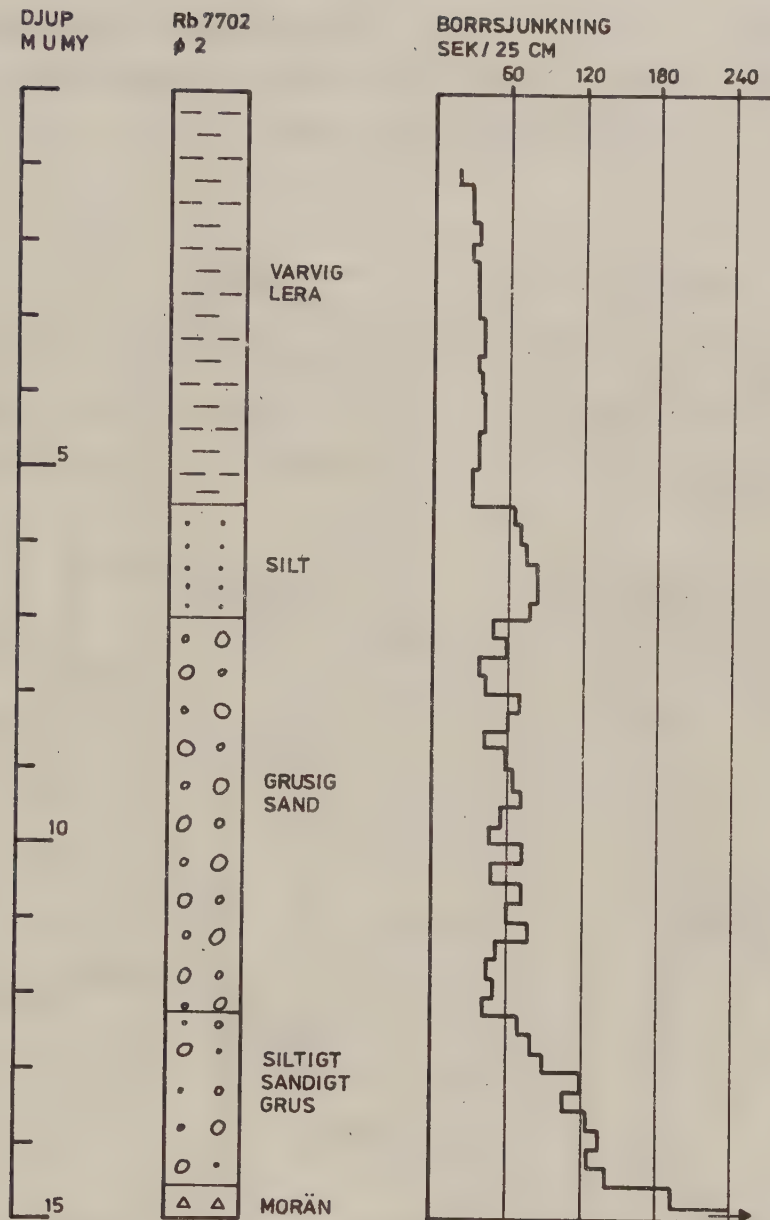
Vid geoteknisk sondering är inte sonderingsmotståndet liktydigt med sonderingsspetsens motstånd, eftersom borrhörstålen vanligen ger upphov till en friktion mot hålväggen, s k mantelfriktion. För att få det verkliga spetsmotståndet måste således sonderingsmotståndet reduceras med mantelfriktionen. Detsamma gäller i princip också vid rördrivning, som om man så vill, kan ses som en kombinerad provtagnings- och sonderingsmetod inom den prospekteringstekniska fältsidan.

Enligt enkätundersökningen, kapitel 5, mäts borrsjunkningen vid ungefär var tredje rördrivning, således relativt sällan. Vid de tillfällen den dokumenteras sker det dels genom att registrera antalet slag per längdenhet (då fallhammare används för att driva röret) och dels genom att mäta tid per längden-

het (då tryckluftshammare används). Figur 7.4 visar ett exempel där borrsjunkningen uppmätts i antal sekunder per 25 cm drivning under konstant energitillförsel via tryckluftshammare. Här avspeglas jordlagerföljden i borrsjunkskurvan vilken i detta fall användes för att fastlägga jordartsgränserna.

Exemplet visar distinkta skillnader i sonderingsmotståndet genom lagerföljden, såväl i absoluta värden som i kurvans variation inom ett och samma lager. I exemplet spelar uppenbarligen mantelfriktionen en underordnad roll, något som visat sig vara genomgående då pneumatisk hammare används. Detta beror förmodligen på att slagfrekvensen är så hög (minst 1000 slag/minut) att rören är försatta i en ständig vibration under neddrivningen. Så vitt man okulärt kan iaktta packas därigenom borrhålsväggen och blir stående vid drivning i kohesivt material. I grövre sediment tycks vibrationerna medföra att partiklarna inte kommer i verksam friktionskontakt med röret.

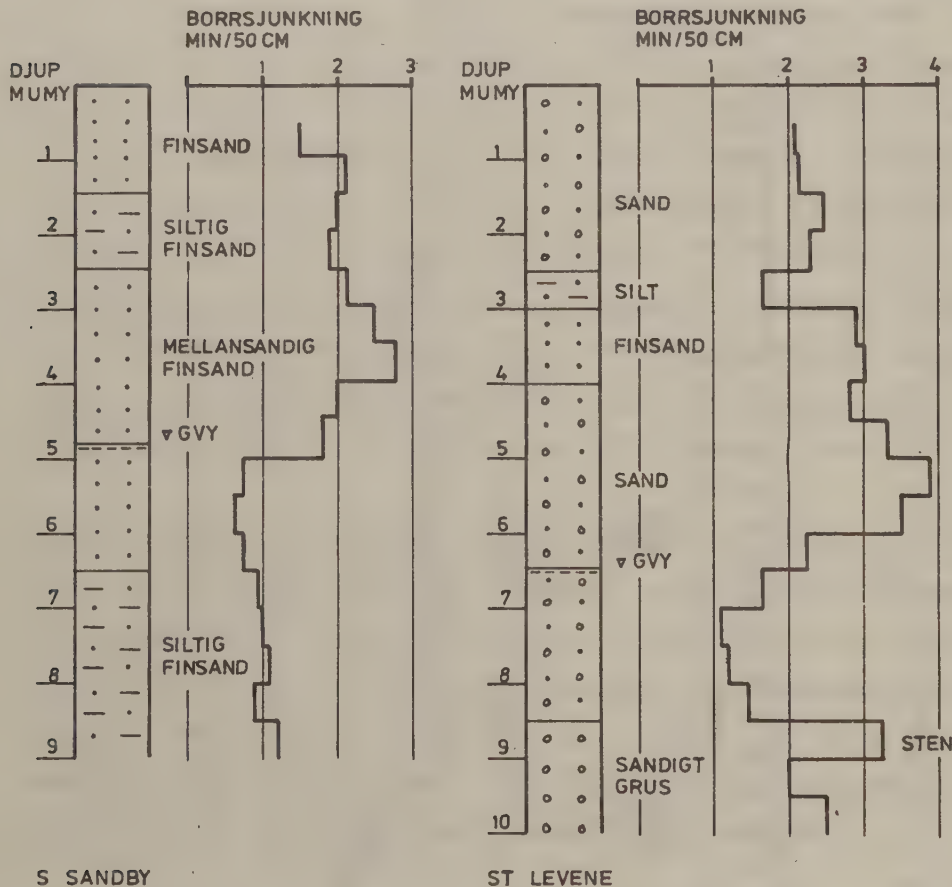
De borrsjunksstudier jag utfört är samtliga gjorda vid drivning med pneumatisk hammare. Används fallhammare, där slagfrekvensen vanligen ligger under 100 slag/minut, torde mantelfriktionen bli mera verksam. Sjunksningsförloppet blir därför annorlunda och borde mer likna det som fås vid geoteknisk hejarsondering. Vad som fortsättningsvis behandlas här gäller dock drivning med pneumatisk hammare.



Figur 7.4

Resultat av rekognoseringsborrning vid 2" rördrivning med sluten spets och perforerad rörända, dokumenterad med provtagning var 1,5 m och manuell borrsjunkningsmätning (Opubl utredningsmaterial, VIAK, Malmö)

Förutom jordart inverkar förekomst av grundvatten på borrarjunkningsförloppet. Över en definierad grundvattenyta blir sjunkhastigheten vanligen långsam i torrt friktionsmaterial. Som framgår av figur 7.5 lättar neddrivningsmotståndet markant när grundvattenytan nås. Till och med kapillärt vatten tycks inverka positivt på borrarjunkningen.



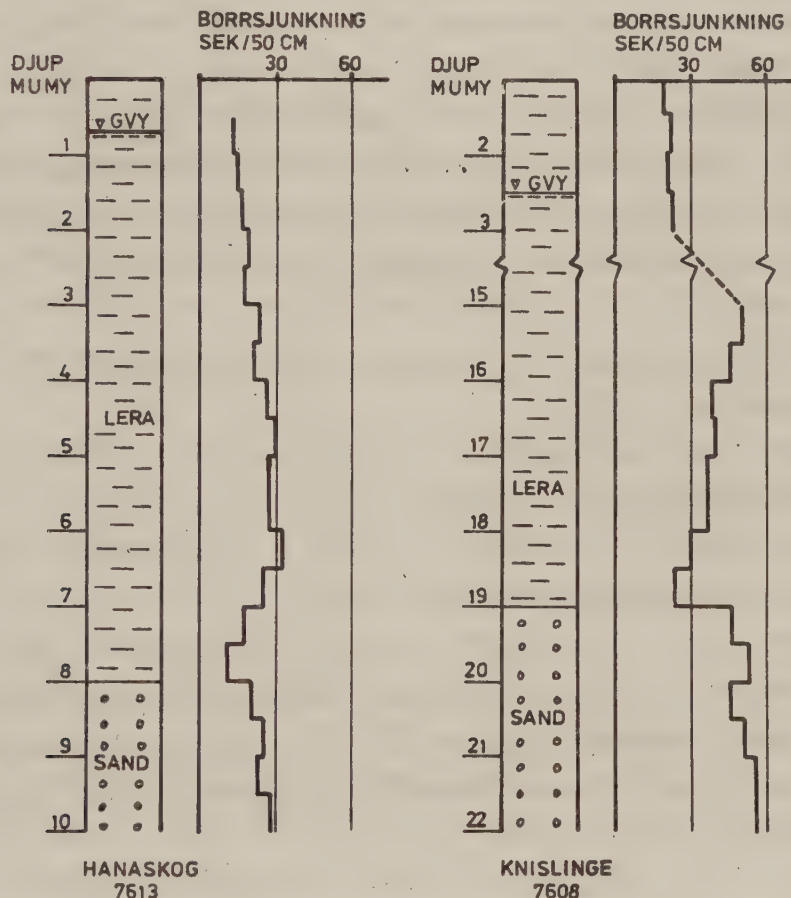
Figur 7.5

Borrsjunkningsdiagram från rördrivning med sluten spets och 1 m perforerad rörända. I båda fallen inverkar grundvattnet genom att bidra till snabbare borrarjunkning.

Den stora skillnaden i neddrivningsmotstånd över och under grundvattennivån torde bero på att det torra materialet har en större inre friktion än motsvarande vattenmättade material. Vattnet antas således ha en smörjande effekt som minskar såväl

undanträngningsmotståndet (inre friktion) som friktionen mot spetsen.

I sådana lägen där rördrivningen sker genom sedimentär lera, vilken underlagras av vattenförande grovsediment, uppträder ofta en snabbare borrsjunkning genom leran någon eller några meter innan grovsedimentet påträffas. I de fall detta konstaterats är grundvattenmagasinet bundet, vilket innebär att den hydrauliska trycknivån (piezometrisk grundvattenyta) befinner sig ett antal meter upp i lerformationen. Förhållandet exemplifieras i figur 7.6, som också ger en antydning om ett samband mellan trycknivå och den nivå i leran där sjunkhastigheten börjar öka igen efter att successivt ha minskat genom lerlagret.



Figur 7.6

Borrsjunksdiagram från rördrivning med slutna spets och 1 m perforerad rörända. Neddrivningsmotståndet minskar successivt ned mot kontakten till det bundna grundvattenmagasinet. Den piezometriska tryckytan är angiven med triangel.

Som tidigare nämnts tycks mantelfriktionen mot röret spela en mindre roll för sjunkningsförloppet. Andra faktorer som teoretiskt skulle påverka detsamma är variationer i tillförd energi till rörspetsen. För att få en borrsjunkningskurva som renodlat återspeglar spetsmotståndet, vilket ju eftersträvas, fordras att energitillförseln till spetsen är konstant, något som i praktiken är ogörligt. Visserligen kan man låta hammaren slå med jämn frekvens och på det viset kontrollera att en bestämd mängd energi eller arbete överförs till rörets slagdyna, men därmed inte sagt att den verksamma energin i spetsen blir likformig. Då stötvågen tas upp och fortplantas ned genom röret uppstår nämligen förluster vilka är svåra att kvantifiera och vars storlek är beroende av en rad faktorer.

Energiöverföringsprocesserna vid slående borrar och sondering har både teoretiskt och experimentellt varit föremål för ingående studier, bl a av Fischer (1961, 1962), Fischer/Hellman (1963), Lundberg (1971) och Bergdahl/Dahlberg (1973). Applicerat på rördrivning kan man teoretiskt räkna med att förluster av betydelse uppkommer till följd av

- dålig kontakt mellan hammare och slagdyna
- absorption i rören
- gängade rörskarvar
- stötvågsreflexer
- vibrationer
- avvikelse från lodlinje

Erfarenheterna från de trettiotalet mätningar jag analyserat tyder på att energiförluster i rör och skarvar är svårigen detekterbara men i praktiken försumbara för det ändamål som registreringen görs.

Sammanfattningsvis kan konstateras att borrsjunkningsmätningen utgör ett betydelsefullt komplement till provtagningen, i vart fall då slutna spets används. En rätt tolkad borrsjunkningskurva förhöjer borrarningens dokumentära kvalitet bl a genom att lagergränser bättre kan nivåbestämmas.

7.1.2 Borrsjunkningsförloppet vid hammarborrning i jordlager

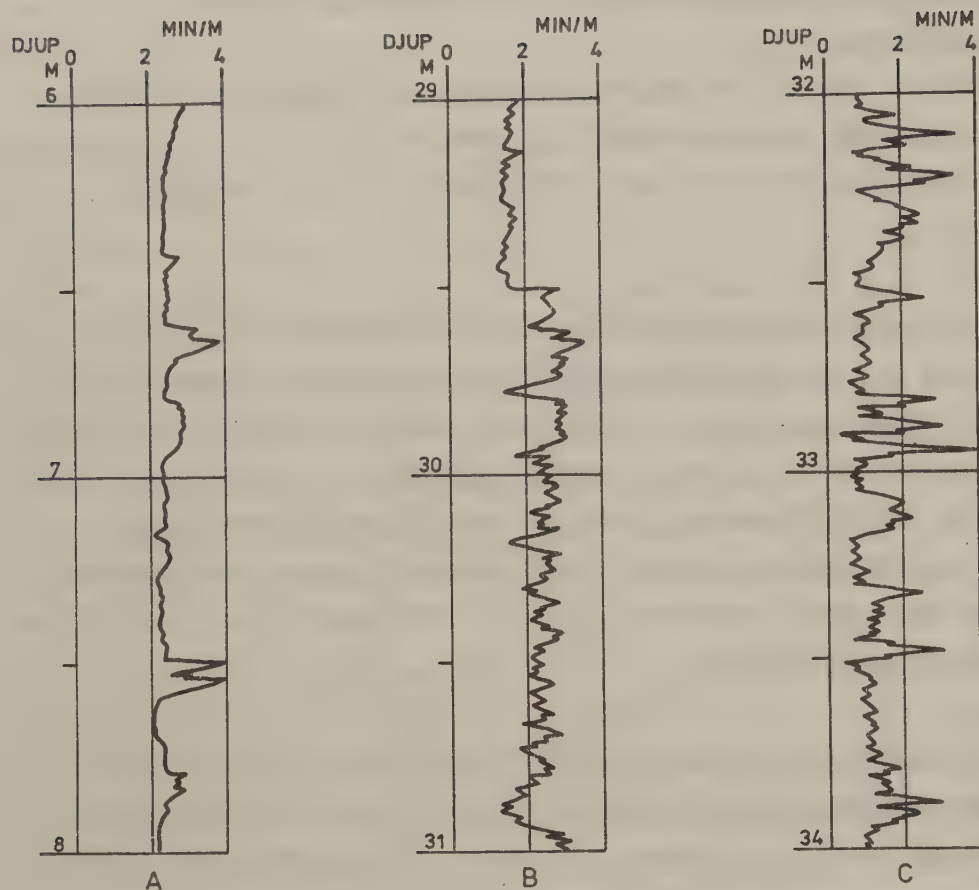
Vid den tidigare omnämnda undersökningsborrningen vid LTH, se sidan 193, utfördes en kontinuerlig registrering av borrsjunkningen, med ett instrument som utvecklats inom ramen för STU-projektet.

Borrsjunkningsinstrumentet medger en fortlöpande nivåbunden utskrivning av penetrationshastigheten och med en hög känslighet. Utrustningen består av en givare som omvandlar borrhörets nedåtgående rörelse till elektriska signaler. Dessa går sedan till en modul för filtrering och annan signalbehandling.

Impulserna går därefter direkt till en skrivare, som matar fram pappret med samma proportionella hastighet som borrsjunkningen är (Ulriksen 1980).

Borrningen vid LTH utfördes med 6" ODEX-utrustning ned till berg som påträffades på 45 meters djup. Prover togs på var meter och dessa har analyserats okulärt för jordartsbestämning. Borrsjunkningen erhöles som en kontinuerligt registrerad kurva. Vissa avbrott och andra störningar förekom dock på grund av instrumentella fel.

Även om borrsjunkningskurvan inte direkt kunde relateras till de olika jordarternas borrhingsmotstånd visar dock resultaten på att sjunkningsförloppet i sig är användbart för att detektera olika lagerenheter. I figur 7.7 har några sådana kurvor ritats upp. Som framgår av figuren föreligger ett samband mellan kurvans frekvensinnehåll och det material borrhningen gjordes i. Moränlera (kurva A) får som synes ett jämnt förlopp som endast tillfälligtvis bryts bl a till följd av stenar eller mindre block. Även finkorniga sediment får ett jämnt förlopp, men kurvans taggighet ökar vid borrhning i grövre friktionsmaterial (kurva B). Ett direkt ojämnt sjunkningsförlopp uppträdde vid borrhning i stenigt material (kurva C).



Figur 7.7

Borrsjunkningsförloppet vid ODEX-borrning 6" genom (A) moränlera, (B) finsand som på nivå 29,5 m övergår i mellansand med inslag av grus och (C) stenigt grusigt ofullständigt sorterat material.

Det råder ingen tvekan om att en med hög känslighet uppmätt borrsjunkningskurva återspeglar variationer i lagerföljden som man svårligen kan detektera med enbart kaxprovtagning. Detta har också visat sig gälla vid rotationsborrning med direktspolning (STU-projekt 7608, opubl. material).

7.1.3 Borrsjunkningsmätning för bestämning av borrhårhet och bergmekaniska parametrar

Som beskrivits i kapitel 3 destrueras berget vid borrhåringen genom krossning, skjuvning osv. Det ligger då nära till hands att sätta borrsjunkningen i relation till bergets mekaniska egenskaper, exempelvis dess tryck- och skjuvhållfasthet. Det motstånd varje bergart bjuder mot att sönderdelas och som är syntesen av dess styrka gentemot den nedbrytande kraft den utsätts för brukar betecknas som bergartens borrbarhet.

Med denna definition blir dock borrhårheten relativ och kommer att variera beroende på vilken nedbrytningskraft bergarten i fråga utsätts för och under vilka andra omständigheter detta sker. Inom den integrerade forskning där borrhåringsteknik och bergmekanik förts samman, har man därför ansträngt sig att definiera ett borrhårhetsindex, som ett objektivt mått på olika bergarters borrhåringssmotstånd. Det ligger i sakens natur att ett index antingen måste skapas genom verklig mätning av sjunkhastigheten under klart definierade tekniska förutsättningar, eller också genom att en eller flera bergmekaniska egenskapsparametrar, som står i samband med borrhårheten används. Ett tredje sätt är att mäta den mängd energi eller arbete som åtgår för sönderdelningen av en viss volymsenhet. Samtliga dessa utgångspunkter har testats, vilket resulterat i att det idag finns flera olika borrhårhetsindex presenterade i litteraturen.

Forskningen runt borrhårhet och indexeringen av denna är viktig ur den synpunkten att den kan bilda grund till borrhåringssjunkningens samband med bergmekaniska parametrar. Det finns därför anledning att närmare redogöra för delar av de resultat som kommit fram.

Redan innan den maskinella bergborrningen kom till allmänt bruk väcktes tankar på hur man med hjälp av relativ borrhåringssmotståndsmätning skulle kunna klassificera olika berg-

arters hårdhet och nötande egenskaper. En förmodligen helt unik undersökning i sådant syfte utfördes vid Stribergrs gruvor 1895 av en bergsingenjör vid namn Gustaf Hallberg (Hallberg 1897). Undersökningen omfattade 21 olika bergarter, representerade av lika många kubiska block av samma storlek. Dessa fixerades i ett skruvstäd och handborrades därefter med mejsel ("nafvare") och slägga. I varje block gjordes i genomsnitt 7-8 hål, vart och ett ungefärligen 2-3 cm djupa. Vid håltagningen registrerades antal slag per tidsenhet och hålfördjupning. Hänsyn togs också till hålens riktning i förhållande till bergartens struktur samt till mejselns skärvinkel och antal vridningar per varv. Vidare mättes skärets relativa slitage ("nafvarenötning").

Hallberg var väl medveten om en rad andra faktorer som borde hållas konstanta eller likformiga under hela försöksserien för att resultaten skulle kunna tåla en inbördes jämförelse. Av bl a den anledningen användes som borrhare "en och samma person, en ung kraftfull man vid namn Granberg", vars personlighet i övrigt beskrivs mycket ingående, liksom det förtjänstfulla sätt han hanterade redskapen. Hallberg pekar annars på flera olikformigheter, andra än sådana som vållas av bergarternas beskaffenhet. Hit hör bl a "borrarens olika disposition, tredskande hos borrharen på grund af misstro mot ändamålet med hans arbete" m m, faktorer som idag kan betraktas som kuriosas, men som till dels fortfarande äger giltighet i samspelet borrhare/borrmaskin.

Hallberg kunde på grundval av försöken konstruera något som bör vara det allra första borrhärdhetsindexet. Han beräknade det antal slag som i medeltal skulle krävas för att med olika vinklar på mejseln nå ett håldjup av 1 dm. Mjukast var en kloritskiffer med 186 slag och hårdast en "tät, vresig blodsten" med 1027 slag. I ett annat index grupperade han bergarterna efter nötning på mejseln som antal slag innan denna ansågs utnött. Minst nötande visade sig kloritskiffern vara med oändligt antal och mest nötande en kvartsit som nötte ut mejseln redan efter 200 slag.

Bland de första att i modernare tid använda borrarjunkningsmätning för att bestämma ett borrarbarhetsindex var Sievers (1950). Hans borrarbarhetsindex, J, definieras som det nedträngningsdjup som nås efter 1 minuts borrarning med en $\emptyset$ 10 mm skärborrkrona, vilken med 20 kg tryck roteras ned med 160 varv per minut. Nedträngningsdjupet i mm multiplicerat med 10 utgör J-värdet. Sievers gjorde inga försök att hitta samband mellan J-värde och bergmekaniska hållfasthetsparametrar.

Sievers fick flera efterföljare, som alla liksom Sievers, definierade indexsystem begränsat till en borraringsmetod och gällande under vissa definierade tekniska förutsättningar. Opolski (1956), Simon (1956), Hartman (1959, 1962) och Maurer (1959) Paone/Bruce (1963), Paone/Madson/ Bruce 1969), Furby (1964) och Hustrulid (1965) är några av de mest framträdande på detta område.

White (1969) presenterar borrarbarhetsindex för de tre vanligaste bergborrmetoderna "rotary-, percussive- and rotary/ percussive drilling" (roterande-, slående- och roterande/ slående borrarning). Indexen uttrycker en genomsnittlig borrarjunkning (minuter/3" hållängd) som uppnåtts vid konstanta tryck-, slag- och rotationsvärden, samma för alla de 98 olika bergarter som ingick i testen. För slående och roterande slående borrarning användes 3/4" fyrskärskorna och för den roterande metoden en tvåskärskrona i samma dimension. Vid roterande borrarning gjordes fem index gällande för olika tryck på borrarbronan.

Bergarterna analyserades också avseende fyra bergmekaniska egenskaper, nämligen tryckhållfasthet (enaxiell), Youngs' E-modul, Schmidt's E-modul (dynamisk) och Shores' hårdhet.

Med regressionsanalys söktes sambanden mellan borrarbarhetsindexen och de bergmekaniska mätvärdena. Resultaten av White's analys uttryckt med en korrelationskoefficient, r , gällande för linjär grad av oberoende för variablerna framgår av tabell 7.1.

Borrnings- metod	Korrelation till borrarbarhetsindex		
	Tryckhåll- fasthet	Shores' hårdhet	Schmidts' E-modul
Roterande	0,41	0,52	-
Slående	0,79	0,51	0,59
Roterande/ slående	0,49	0,35	0,41

Tabell 7.1 Korrelationskoefficienter (r') för borrarbarhetens samband med några bergmekaniska parametrar. Linjär regressionsanalys (White 1969)

Analysen visar på en relativt dålig korrelation möjligen med undantag för den slående metodens samband med tryckhållfasthet.

Selim och Bruce (1970) redovisar betydligt bättre korrelationsvärden mellan borraringsparametrar och bergmekaniska egenskaper än vad White gjorde. Selim och Bruce använde 1½" fyrskärskronor och roterande slående borrarmaskiner för sina experiment. Nio olika bergarter ingick i studien. Förutom borrarjunkning mättes arbetshastigheten ("work rate") samt åtta bergmekaniska parametrar. Dessa variabler har jämförts avseende inbördes samband med hjälp av statistisk regressionsanalys. Den multipla korrelationskoefficienten, R' , mellan borrarjunkningsparametern och de åtta bergmekaniska parametrarna visas i tabell 7.2.

Bergmekanisk egenskap	Korrelation till borrsjunkning
Tryckhållfasthet	0,887
Draghållfasthet	0,887
Shores hårdhet	0,887
Densitet	0,762
Statisk Young modul	0,934
Dynamisk Young modul	0,815
Skjuvmodul	0,800
Styrkegradskoefficient	0,935
Kvartshalt volym %	0,779

Tabell 7.2 Multipel korrelationskoefficient (R) mellan borrsjunkning och olika bergmekaniska egenskaper. Linjär regressionsanalys (Selim/Bruce 1970)

Resultaten visar ett påtagligt samband mellan borrsjunkning och främst bergets styrkegradskoefficient och Young's statiska E-modul.

Sambandet med styrkegrad hade tidigare uppmärksammats av Protodyakonov (1962) som också beskrivit mätmetoden, vilken bygger på att mäta nedkrossning med fallhammare under specificerade förhållanden.

Tandanad och Unger (1975) fann Protodyakonovs styrkegradstal, f , som beräknas

$$f \approx \frac{20 \cdot n}{H}$$

7.1

där n = antal slag med fallhammaren och

H = höjden av finpartiklar i cylinder som passerat
maskvidden 0,5 mm

vara direkt proportionellt med bergets tryckhållfasthet och
elastitetsmodul enligt

$$f = 1,887 \frac{C^2}{2E}$$

7.2

där C = enaxiell tryckhållfasthet (kg/cm^2)

och E = statisk E-modul (kg/cm^2)

De fann vidare att korrelationen blev dålig till uppmätt f -värde om tryckhållfastheten isolerades. Beräknades däremot "tålighet" (toughness) som arean under tryckspänningskurvan vid enaxiell tryckhållfasthetsbestämning blev korrelationen betydligt bättre. De förklarar detta med att "tåligheten" beskriver hela deformationsförloppet inklusive elasticitet och sprödhet.

Tandanad och Unger använde 24 bergarter i sina försök och med stöd av tidigare påvisat samband mellan borrhjunkning och styrkegrad vid roterande slående borrning (Paone/Unger/Tandanad 1968, Paone/Madson/Bruce 1969, Selim/Bruce 1970, och Schmidt 1972), menade de att just styrkegraden, men uttryckt som "tålighet" enligt ekv 7.2 kunde användas som borrhjunkningsindex. På så vis kan om tillsatt energi, P , är känd liksom borrhålsarean, A' , borrhjunkningen PR kunna förutsägas enligt

$$PR = \frac{P}{S \cdot A'}$$

7.3

Där S är upptagen energi vid sönderdelningsprocessen, specifik energi. Denna kan beräknas utifrån styrkegradsbestämningen, ekv 7.1 enligt

$$S = 3860 + 2744 \ln f \text{ (ft-lb/in}^3\text{)}$$

7.4

S-värdet fordrar dock en skalfaktor, K' , för större håldiametrar än $1\frac{1}{2}$ "

$$\ln K' = 0,47 (D-1,5)$$

7.5

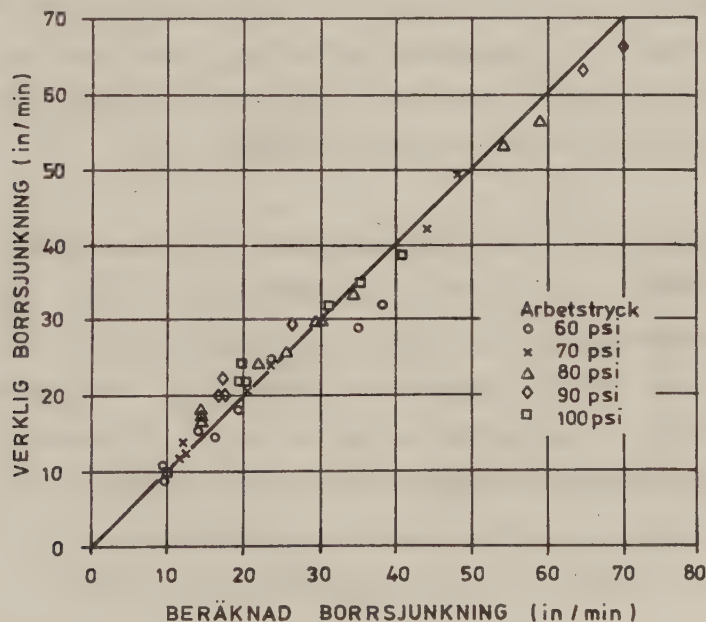
där D = håldiameter (in). Korrigerat S-värde, S' , fås genom att multiplicera K med S .

Med känd energiöverföring från maskin till borrar-krona kan borrarjunkningen, PR , förutsägas enligt (ekv 7.3, 7.4 och 7.5).

$$PR = \frac{P}{A' \cdot K' (3,860 + 2,744 \ln f)}$$

7.6

Testat under fältförhållanden visade den på basis av ekv 7.6. beräknade borrarjunkningen god överensstämmelse med den verkligt uppmätta, figur 7.8.



Figur 7.8

Verklig borrarjunkning och beräknad enligt ekv 7.6. Slående roterande borrar-ring med $1\frac{1}{2}$ " skärkrona (Tandanad/Unger 1975)

Resultaten är intressanta, inte bara därför att de visar på möjligheten att med relativt enkla medel kunna förutsäga s k indriftshastighet, något man har behov av vid bl a fullortsborrning, utan också för att samma formler omvänt kan användas för tolkning av verkligt uppmätta borrsjunkningsvärden. I detta fall kan f-värdet beräknas från ekvation 7.6. Enligt sambandet i ekvation 7.2 fås ett direkt värde på "spänningsdensiteten", alltså ett mått på tryckhållfasthet och E-modul.

Några försök att utnyttja borrsjunkningsparametern i sådant syfte har jag inte funnit i den bergtekniskt orienterade litteraturen. Däremot är det vanligt att vid bergteknisk undersökningsborrning använda borrsjunkningsmätning för att detektera sprickor och svaghetszoner, vilket kommer att framgå i avsnitt 7.1.7.

7.1.4 Borrsjunkningens samband med bergmekaniska parametrar vid diamantborrning

Diamantborrning är, som beskrivits i kapitel 4, en tryckande/roterande metod där avverkningen i hålbotten sker medelst mikroskjuvning vanligen benämnt nötning. Man skulle med tanke på destruktionsprocessen förvänta sig ett samband mellan borrsjunkning och tryck/skjuvhållfasthet.

Bruce (1968) fann att borrsjunkningen vid diamantkärnborrning (laboratorieförsök) var direkt proportionell mot bergets fysikaliska egenskaper. Av dessa var den enaxiella tryckhållfastheten den mest signifikanta, figur 7.9, men också andra egenskaper påverkar borrsjunkningen. Den i figuren redovisade teoretiska kurvan är beräknad med en förenklad ekvation.

$$B = \frac{2\pi \cdot T'}{10 \cdot C \cdot A'}$$

7.7

där B = borrarjunkning per varv (in)

T' = vridmoment (lb/in)

C = tryckhållfasthet (psi)

A' = kronans nötande area (in²)

hämtad från utgångsekvationen

$$B = \frac{2\pi(T' - a \cdot D \cdot F_V)}{S_O \cdot A' - F_V}$$

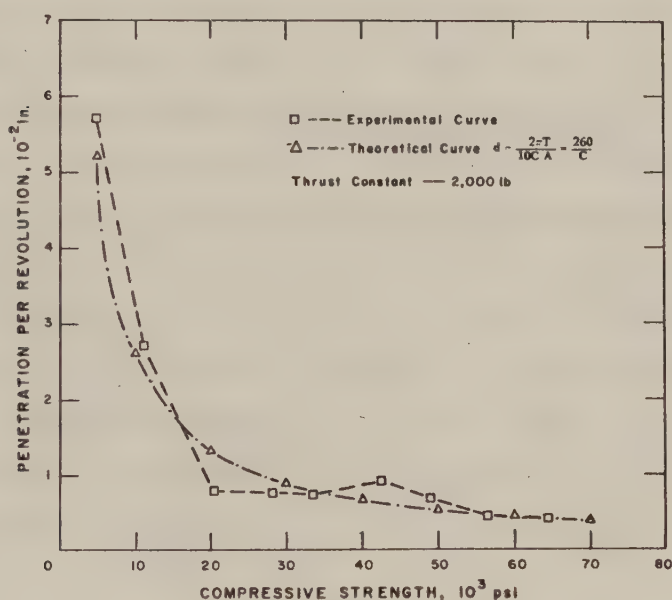
7.8

där a = friktionskoefficient

F_V = tryck på borkkronan (lb)

D = krondiameter (in)

S_O = "borrbarhet" (psi)



Figur 7.9

Uppmätt borrarjunkning ("Experimental Curve") och beräknad enligt ekv 7.7 vid diamantborrning med kärnborkkrona (Bruce 1968)

S_O blir i denna ekvation ett värde på det motstånd berget gör mot nötningen och har i den förenklade ekvation 7.7 satts lika med tryckhållfastheten.

Tsourelis (1969) utförde en serie borrarntester på sex olika bergarter. Han fann att samtliga bergarter uppvisade ett linjärt samband mellan den initiella borrarjunkningen, R_O , och tryck på kronan, F_V , vid konstant rotationshastighet, N . Med F_V - R_O -kurvans grafiska lutning, k , definierade han en parameter K_O

$$K_O = \frac{k}{N} \quad 7.9$$

och fann att denna är konstant för varje given bergart och för en specificerad borrkrona, något som också Paone och Madson (1966) tidigare kommit fram till. Men Tsourelis gick ett steg längre och kunde påvisa att tryckhållfastheten C kunde beräknas direkt från K_O -parametern enligt

$$C = \frac{A_1}{K_O + B_1} \quad 7.10$$

där A_1 och B_1 är borrarkronekonstanter.

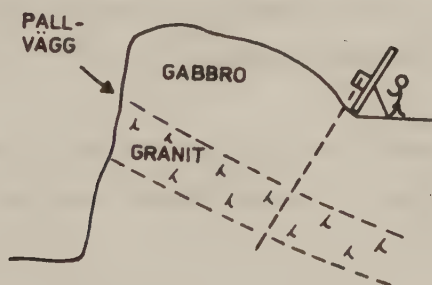
På detta sätt kunde Tsourelis med stor noggrannhet beräkna tryckhållfastheten på de sex bergarter han använde i studien. Detta antyder att det skulle kunna gå att bestämma tryckhållfastheten in-situ genom att först laboratoriemässigt etablera förhållandet $K_O - C$ för den borrarkronetyp som skall användas och sedan i fält bestämma K_O -värden genom att vid borrarntingen registrera borrarjunkning, tryck på borrkrona och rotationshastighet.

En tillämpning av Tsourelis metod inrymmer dock ett par problem. R_O -värdet måste bestämmas innan kronan hunnit bli sliten, vilket gör att metoden måste korrigeras för slitaget vid kontinuerlig borrarnting. Då slitaget inte är funktionellt tillväxande är det svårt att finna en sann korrektionsfaktor (Rowlands 1971). Ett annat problem är att trycket på borrarkronan, som det avläses från borrarntmaskinens instrument, på grund av förluster vid överföringen genom borrarntängerna, inte blir den mot hålbotten verksamma kraften. Även denna parameter är

variabel allt efter omständigheterna. En tredje faktor som kan påverka borrarjunktionsprocessen är variationer i spolvätsketrycket, se bl a avsnitt 4.4.1.3.

Såväl Bruces som Tsourelis ekvationer bygger på data som framkommit vid laboratoriestudier, med instrumenterad registrering av grunda hål och utförda med särskilda provborrningsriggar. För att bl a testa om de under laboratorieförhållanden påvisade sambanden mellan borrarjunktning och bergparametrar även kunde påvisas under normala fältförhållanden lät jag inom ramen för STU-projektet genomföra en mindre sådan studie. Denna gjordes som ett examensarbete sommaren 1979 vid Avd för Bergmekanik, Högskolan i Luleå (Lindvall/Röshoff, koncept u å).

Tre kärnborrningar gjordes, 10, 9 resp 3 meter djupa, förlagda till Kallax stenbrott söder om Luleå. Bergarten i området bestod av ett gabbromassiv som i anslutning till borrhålen var genomsett av ett granitband, 3-10 meter mäktigt. Borrhålen placerades så att båda bergarterna skulle påträffas, figur 7.10.



Figur 7.10 Principskiss över borrarplatsen vid Kallax stenbrott

Förutom att ur borrarjunktningen söka samband med bergmekaniska parametrar undersöktes också sprickighetens inverkan på borrarjunktionsförloppet, se kapitel 7.1.6.

Borrsjunkningen mättes med ett instrument som utvecklats inom STU-projektet och som medger en kontinuerlig nivåbunden registrering av penetrationshastigheten (Ulriksen 1980).

Under borrhningen hölls så långt möjligt var konstant matningskraft, rotationsmoment och spolflöde. Detta visade sig dock inte vara borrhningstekniskt möjligt bl a vid passering av ler- och krosszoner.

Borrhningarna utfördes med en Atlas Copco Diamec 250 kärnborrhaggregat. Borrhkronan var av typ Craelius Diamy Ø 46 mm, vilken ger Ø 32 mm borrhkärna.

Prover som togs från kärnan och som representerade varierande borrsjunkningsvärden analyserades på laboratorium avseende elastisitetmodul, enaxiell tryckhållfasthet och Poissons tal. Dessutom bestämdes ett borrhbarhetsindex genom inträngning av ett hårdmetallstift på en plan provkroppsyta. Vid detta test mäts last och inträngningslängd (Ingersoll-Rand/Lawrence-metoden).

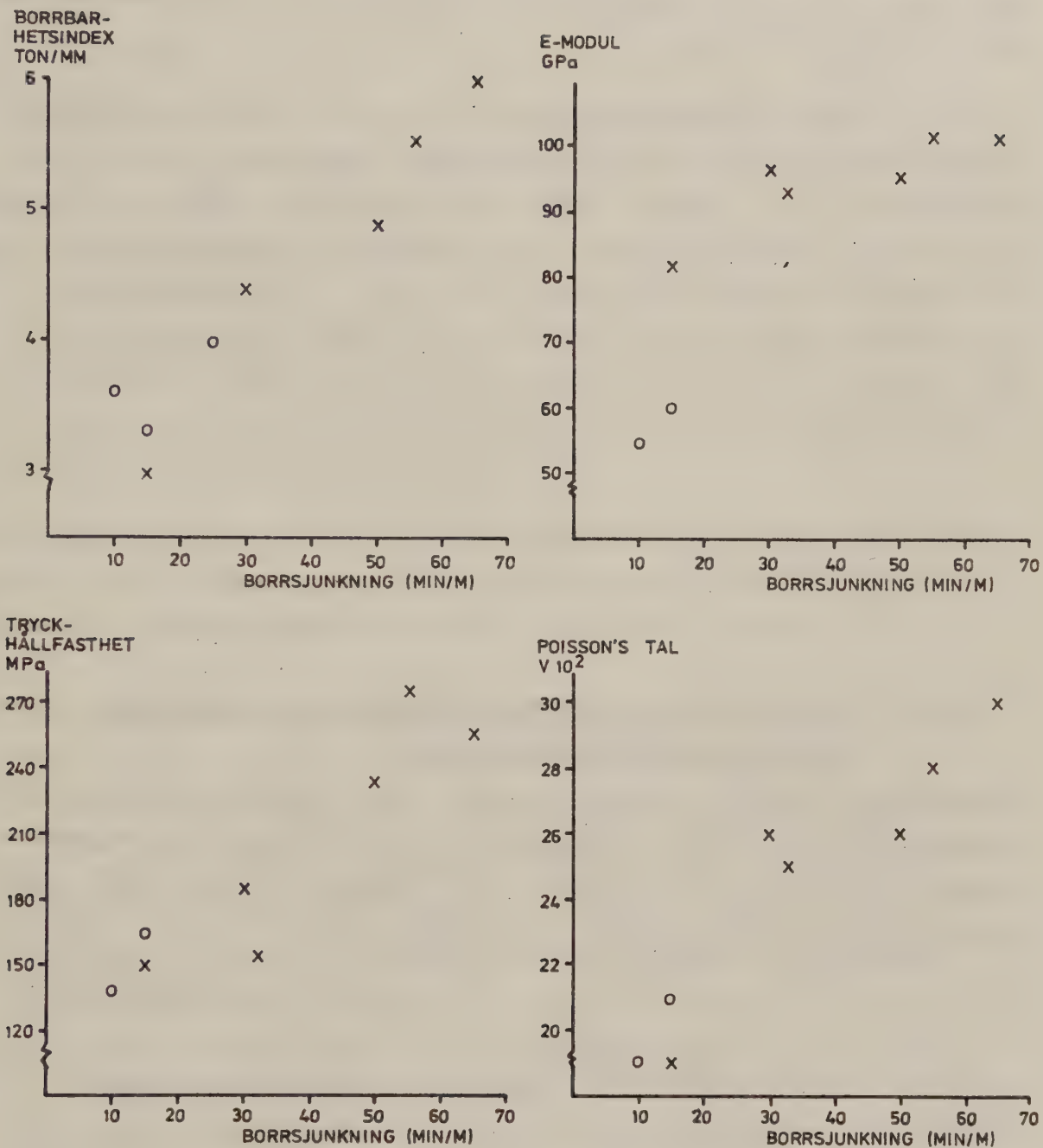
Resultaten plottades mot uppmätt borrsjunkning dels varje hål för sig och dels hålen sammantagna. Ett av hålen, det som var 10 meter, uppvisade visst samband mellan borrsjunkning och de analyserade bergmekaniska parametrarna, figur 7.11.

De två andra borrhålen visade betydligt större spridning av mätvärdena, men det statistiska underlaget var här mindre, fem respektive fyra prover.

Då samtliga 17 prover, de tre borrhålen sammantaget, plottades visade endast tryckhållfastheten ha ett någorlunda klart samband med borrsjunkningen. Det linjära sambandet anpassat med minsta kvadratmetoden beräknades vara

$$C = 157 + 1,2 \text{ PR}$$

7.11



Figur 7.11

Borrsjunkningens förhållande till bergmekaniska egenskaper analyserade på de kärnor som erhöles vid borrhningen. X = Gabbro, O = Granit

där C = tryckhållfasthet (MPa)

PR = borrsjunkningshastighet (min/m)

Sambandet gäller för gabbrobergarten i stenbrottet och med den typ av borrhkrona som användes vid borrhningen. Vidare är PR-värdet låst till en matningskraft av 1000 kp och rotationshastigheten 600 varv/minut.

Studien visade sammanfattningsvis att några distinkta samband mellan borrhjunkning och bergmekaniska egenskaper typ de som redovisas av bl a Bruce (1968) och Tsourellis (1969) inte gick att finna. Undersökningens ringa omfattning och karaktär av pilotstudie gör emellertid att resultaten är av begränsad tillförlitlighet. Endast en brett upplagd studie kan ge svar på frågan om borrhjunkningsparametern kan bli en in-situmetod för bestämning av bergmekaniska parametrar.

7.1.5 Försök med borrhjunkningsmätning vid rotationsborrning med direktspolning

Rubricerade metod, som beskrivits i kap 4 (se ex fig 4.22) används framför allt i sedimentärt berg. Avverkningen åstadkommes genom att ett statiskt tryck läggs på borrhkronan, vars tänder eller stift krossar och skjuvar sönder berget i hålbotten, se kapitel 3. Metoden tillämpas framför allt inom oljeborrhningen och det är främst inom denna bransch borrhjunkning och andra borrhningsparametrar blivit föremål för vetenskapliga studier. Skälen härtill är flera, bl a strävar man efter ekonomisk optimering, se ex figur 4.29, men ett viktigt användningsområde är också att via registrering och omedelbar databehandling av parametrarna få indikationer på höga akvifertryck (beräkning av s_k "d"-exponent) sådana som kan förorsaka s_k blowouts (bl a Jorden/Shirley 1973). Borrhjunkningsparametern isolerat anses också vara en god indikator på bl a porositet och konsolideringsgrad vid borrhning i sandstenar (bl a Moore 1964).

En ekvation som beskriver sjunkhastigheten och som tar hänsyn till själva krossningsprocessen har utvecklats av Maurer (1962).

$$PR = \frac{b \cdot N \cdot F_v^2}{D^2 \cdot S_o^2} \quad 7.12$$

där

PR = borrsjunkning (ft/tim)

b = en konstant

N = matningskraft (rpm)

F_v = vikt på kronan (lb)

D = kronans diameter (in)

S_o = bergets borraringsmotstånd (psi)

Ekvationen gäller under förutsättning att hålbotten och de kratrar som uppkommer vid destruktionsen blir kontinuerligt rensade av spolvätskan ("perfect cleaning"), se kap 4.4.1.

Ekvationen innehåller de två påtagligaste maskinella variablerna, N och F_v samt en annan självskriven parameter, D. Bergets motståndskraft, S_o , kan ses som ett mått på bergets samlade mekaniska egenskaper och påverkar borrsjunkningen omvänt exponentsiellt. Konstanten, b, ger ett matematiskt uttryck för en rad andra parametrar som kan påverka borrsjunkningen, exempelvis spolflöde, spolvätskans sammansättning, borrhokedesign m m.

Det är uppenbart att det i en given situation går att ställa borrsjunkningen i någon form av relation till det motstånd mot sönderdelning, S_o , berget besitter. Vissa bergmekaniska parametrar har också kunnat sättas i ett visst samband till S_o , exempelvis hårdhet, E-modul och seismisk gånghastighet (Gstaller/Raynal 1966), men sambanden borrsjunkning/bergmekaniska parametrar är långt ifrån lika välundersökta som tidigare beskrivits gälla för slående borrar och diamanthorring. Något direkt sådant behov har heller inte påtalats i litteraturen.

Bortser man från etablerade bergmekaniska parametrar och i stället ställer in siktet på relativa egenskaper, som konsolidering, porositet, sprickighet m fl liknande, närmar man sig det praktiska användandet av borrsjunkningsparametern. Sambanden är enkla, lös porös sandsten är liktydigt med snabb något ryckig borrsjunkning, siltsten ger ett betydligt långsammare och homogenerare sjunkningsförlopp osv. Ofta framträder dessutom litologiska gränser i borrsjunkningen på ett sådant sätt att en uppmätt borrsjunkningskurva är direkt användbar vid nivåbestämningen av lagergränser.

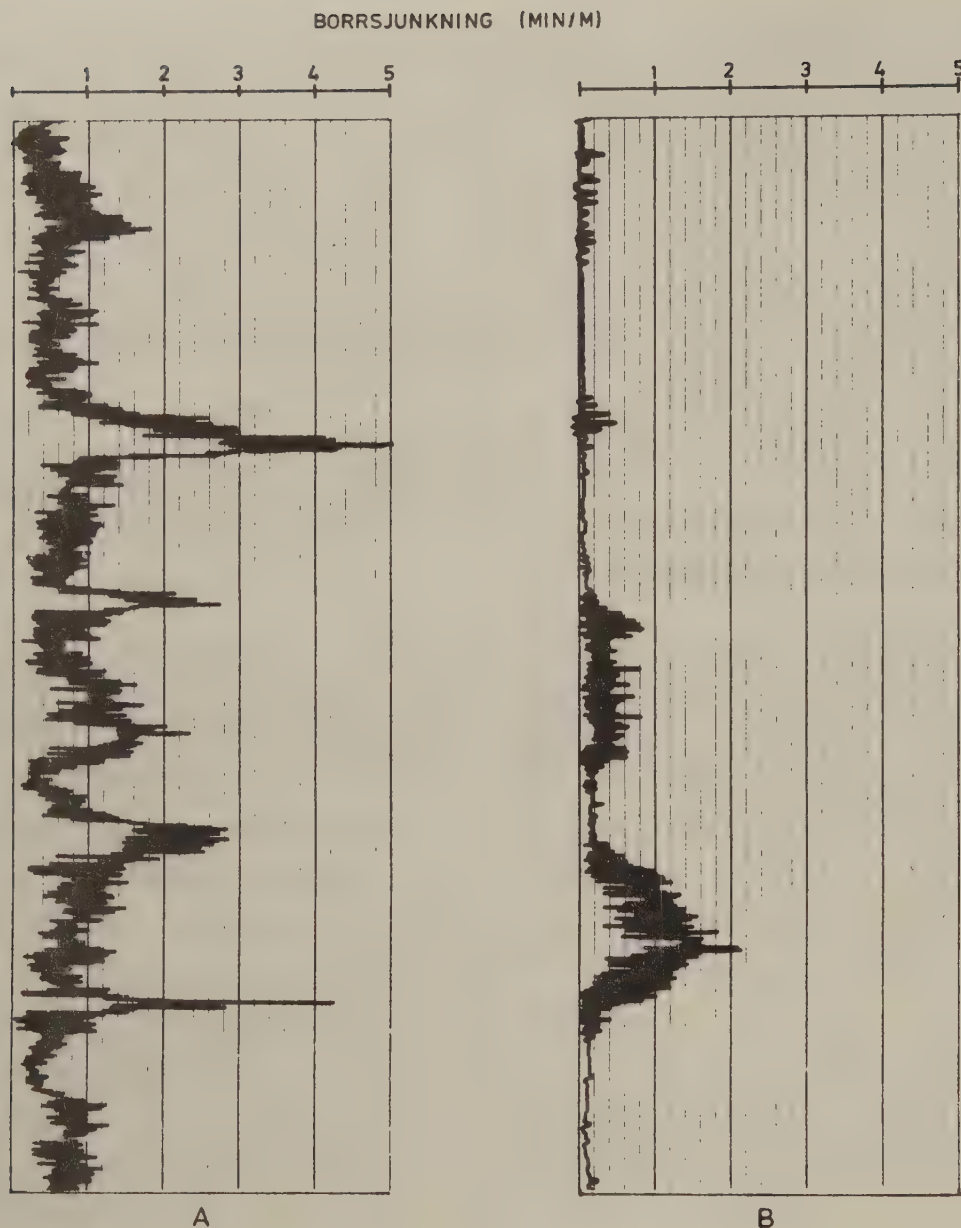
De undersökningar jag själv gjort verifierar vad som sagts ovan. Som framgår av figur 7.1 finner man tydliga samband mellan litologi och borrsjunkningsvärden redan genom att mäta sjunkhastigheten med så liten upplösning som antal minuter per meter borrhning. Till och med utan tillgång på prover och värden över spolförluster skulle man i detta fall med enbart borrsjunkningsdiagrammet kunna urskilja de litologiska huvudgränserna. Studeras diagrammet lite mer i detalj och då i jämförelse med övriga registrerade parametrar finner man en återspeglning också av vissa egenskaper i de olika formationerna. Skalgruskalken (28-85 m u my) visar exempelvis ett mot djupet svagt tilltagande borrhningsmotstånd men i övrigt ett jämt borrsjunkningsförlopp som pekar på en någorlunda homogen uppbyggnad.

Formationen med huvudsakligen sandkalksten och kalksandsten (85-136 m u my) ger en heterogen borrsjunkning som tyder på växellagring och olikartad konsolidering. Sandstenen (136- ca 210 m u my) har ojämn kornfördelning. Detta synes dock inte vara avläsbart på borrsjunkningen, som i stället visar på en låg och jämn konsolideringsgrad. Från och med att sandstenen övergår till mosten med kaolin på nivån ca 210 m fås ett nytt borrsjunkningsförlopp som återspeglar en successivt ökad konsolideringsgrad. På nivån 231 m u my erhöles en spolförlust som indikerar öppna sprickor men den exakta lokaliseringen och egenskaperna hos dessa (denna) försvinner i borrsjunkningsdiagrammets dåliga upplösning.

Intervallet mellan varje manuell mätning skulle i princip kunna göras betydligt kortare. Därmed skulle också den geologiska uttolkningen kunna bli mera detaljerad. Det har emellertid visat sig vara förenat med praktiska svårigheter att hinna med tätare tidtagning än för varje meters sjunkning med den personal som normalt står till förfogande på en borrhälsplats. Däremot kan självregistrerande kontinuerlig borrhälsjunksmätning lösa dessa problem.

Figur 7.12 exemplifierar hur informationen från borrhälsningen väsentligt kan förhöjas genom instrumentell kontinuerlig borrhälsjunksregistrering.

Diagram A visar sannolikt en variation i konsolidering som beror på olika stora kalkinslag i kalksandstenen. Det andra diagrammet visar ett par konsoliderade lager i en annars lös glaukonitsandsten.

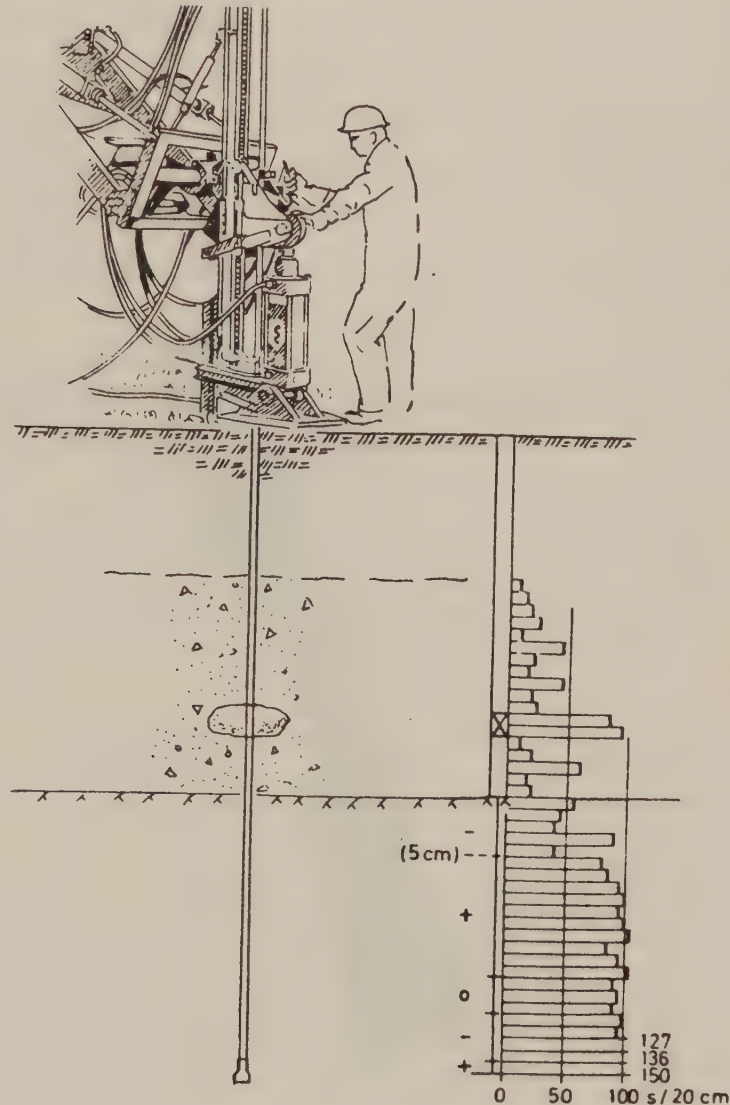


Figur 7.12 Kontinuerlig borrsjunktionsregistrering vid rotationsborrning med direktspolning, genom (A) kalksandsten, (B) lös sandsten på Kristianstadsslätten (Ulriksen 1980). Höjdskala 1:10

7.1.6 Bestämning av bergkvalitet genom sondering med hammarborrning

Av hammarborrningsmetoderna, som beskrivits i avsnitt 4.3 kommer framför allt borrnig med topphammare till användning i undersökningssyfte. Inom geotekniken handlar det då mest om

att fastställa gränsen jord/berg (jord-bergsondering) samt att på grundval av en sonderingskurva också få vissa kvalitativa indikationer, exempelvis blockighet i morän och sprickighet i berg. Ett typexempel framgår av figur 7.13.

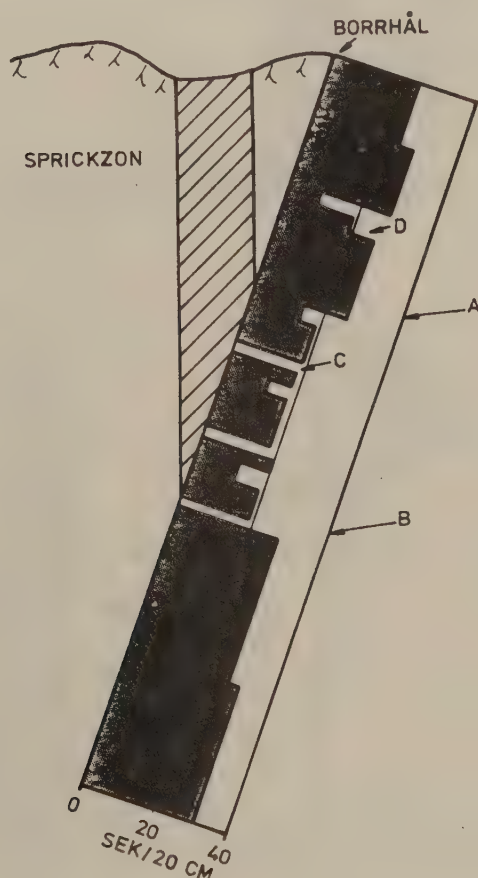


Figur 7.13 Jord/bergsondering med topphammarbörning
(Svenska Konsultföreningen 1979)

Vid jord/bergsondering mäts borrsjunkningen normalt i antal sekunder per 20 cm sjunkning. Metoden är dock inte standardiserad och för sonderingar av detta slag används varierande typer av utrustning och förfaringssätt (SGF 1974).

I samband bergstekniska undersökningar används borrsjunkningen som ett instrument att indikera svaghetszoner. Även i dessa sammanhang används topphammarmetoden och sjunkningen mäts i antal sekunder per 20 cm borring (i praktiken en förlängning av jord/bergsonderingen som normalt annars når 3 ä 5 meter ned i berget).

Resultat av en bergsonderingskurva som indikerar en sprickzon med öppna sprickor ("slag") framgår av figur 7.14.



Figur 7.14

Bergsonderingsdiagram i vinkel mot en svaghetszon i berg, vilken i diagrammet markeras med snabbare borrsjunkning i partiet A-B. C markerar ett av tre "slag" och D en mindre svaghetszon med lervittring (omarbetat efter Pusch 1974)

Som tidigare påtalats har under senare år bergsondering med hammarborrning kommit att mer och mer ersätta diamanatkärnborrning vid bergtekniska och bergmekaniska undersökningar, detta främst av kostnadsskäl. Borrsjunkningen utgör därvidlag en betydelsefull parameter. Detta har bl a påtalats av Bergman (1975) som undersökt möjligheterna att nå tillräcklig undersökningskvalitet med "slående bergsondering" i kombination med loggning (TV-granskning). Bergman anger att en bergteknisk bedömning utifrån borrsjunkningshastigheten är förknippad med viss osäkerhet och att lokalisering av svaga zoner därför måste ske genom komplement av andra undersökningsmetoder.

Några dokumenterade försök att finna samband mellan sjunkhastighet och bergmekaniska parametrar har jag inte hittat i litteraturen, men på teoretiska grunder borde detta vara möjligt (jfr med avsnitt 7.1.3). Det kan i dessa sammanhang vara värt att peka på resultatet från en analys av borrhaxets kornfördelning satt i relation till uppmätta borrsjunkningsvärden från en hammarborrning i Transtad i Dalarna.

Dokumentationen av borrrningen, som utfördes i 4½", täcker intervallet 13-40 m, helt genom s k dalasandsten, med instrumentell borrsjunkningsregistrering (18-40 m) och kaxprovtagning (i huvudsak var meter). Borrsjunkningen mättes med det instrument som beskrivits tidigare (sid 215) och proverna togs direkt i hand vid utblåset. Borrrningen utfördes med påkopplad automatik vilket innebär någorlunda konstanta tryck- och rotationsparametrar. Dokumentationen utfördes av civilingenjör Jerker Perers, 1979.

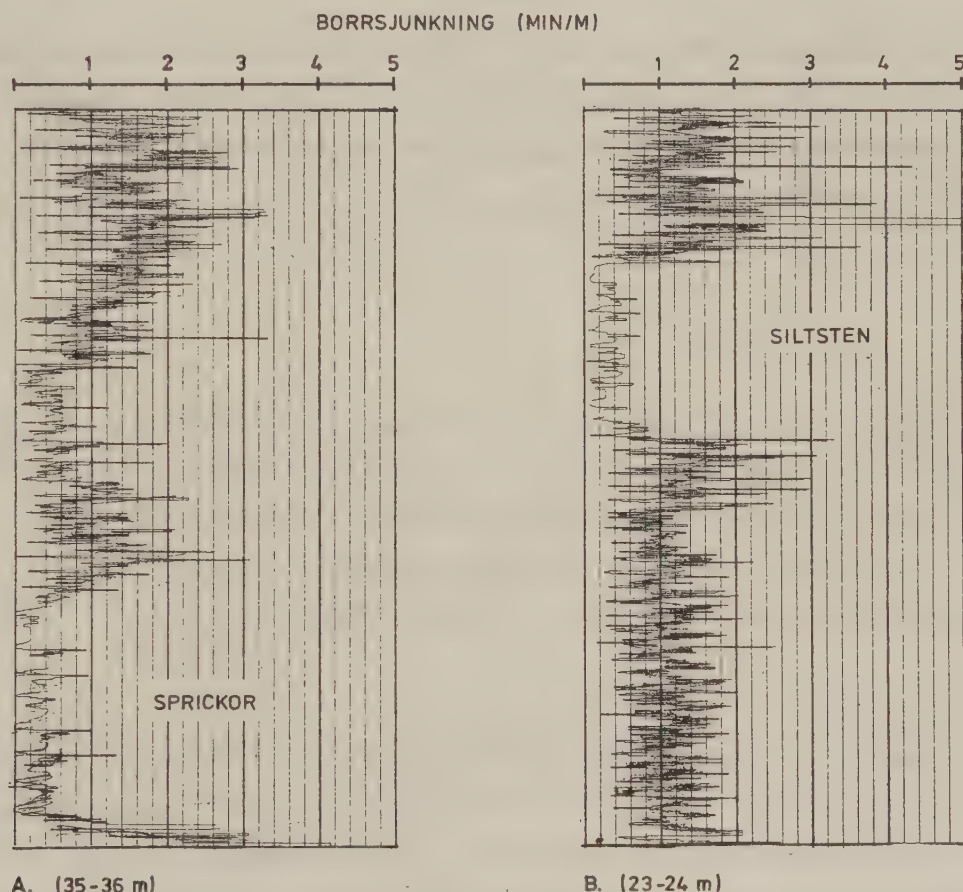
I diagram figur 7.15 har kaxets kornstorlek uttryckt som d_{10} plottats mot den medelborrsjunkning som beräknats på de 20 cm av borrsjunkningskurvan som föregått varje provtagningsnivå.

Diagrammet antyder ett samband som består i att provens innehåll av finpartiklar minskar med ökad borrsjunkning. Detta gäller sandstenen som okulärt betraktad utifrån tagna prover är litologiskt likartad.

7.1.7 Kontinuerlig registrering av borrsjunkning för sprickindikering

Den i föregående avsnitt anförda borrhningen i Transtad, Dalarna, blev så småningom en brunn med en kapacitet av drygt 30 l/min. Huvuddelen av vattnet kommer från sprickor eller zoner av sprickor som börjar uppträda från och med ca 32 meters djup (enligt punktvisa kapacitetsmätningar).

Figur 7.16 visar borrsjunksdiagrammet mellan 35 och 36 meter, där den snabba borrsjunkningen från och med ca 35,7 meter gav ett betydande vattentillskott (från 10 till ca 25 l/min). En annan snabb borrsjunkning på nivån 23,2-23,5 visade sig bero på ett lager med dåligt konsoliderad mjuk lerig siltsten.



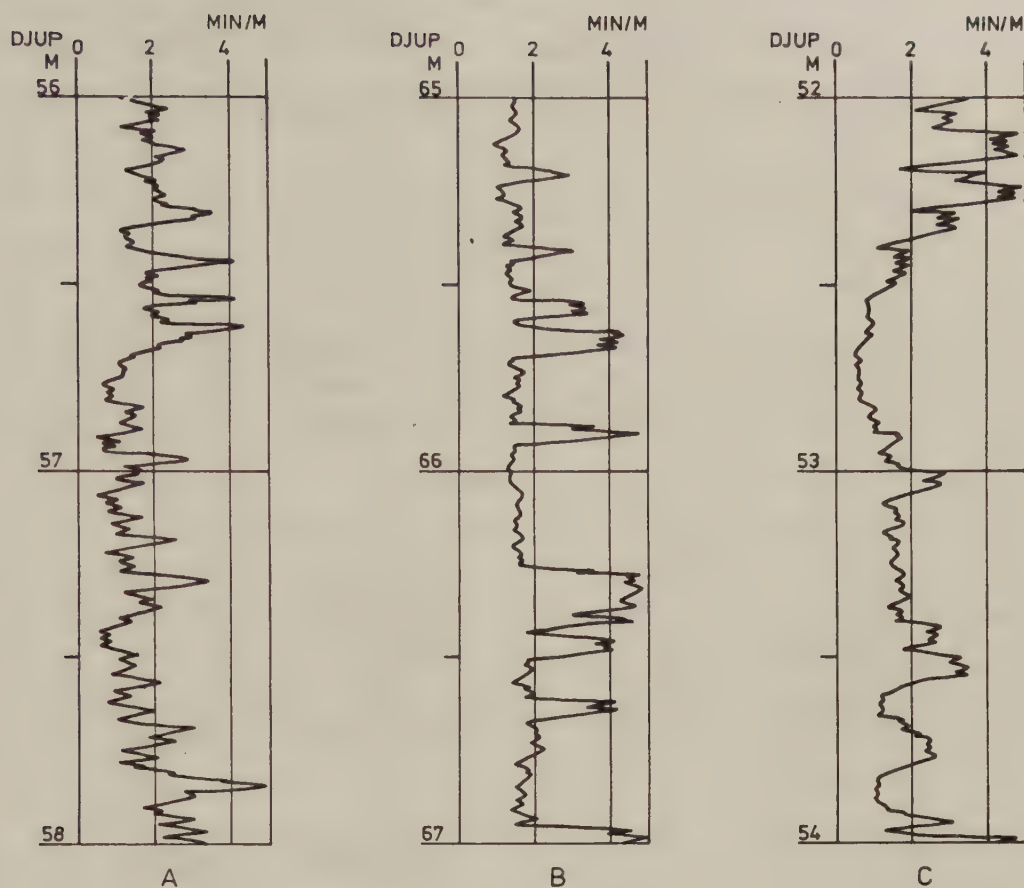
Figur 7.16

Borrsjunksdiagram visande (A) en vattenförande sprickzon i sandsten indikerad av snabb borrsjunkning och (B) ett lager av lös lerig siltsten omgiven av hård sandsten. Skala 1:10. (Hammarborrning i Tranmo, Dalarna)

Ett annat exempel där ett snabbt borrsjunkningsförlopp kunde sättas i samband med vattenförande sprickighet är hämtat från borrhningen vid LTH, se sid 193. Här fick man en kraftig vattenföring på nivån 57-58 meter. Detta förde bl a med sig en hög halt grova kaxpartiklar, se figur 6.22, vilket också det tyder på att lerskiffern här var uppsprucken. I figur 7.17 ses hur sprickzonen troligen infaller mellan 56,7 och 57,8 meter.

Diagrammet visar också att sprickzonen knappast varit detekterbar utan tillgång på uppgifter om vattenföring och provanalys. Den liknar nämligen ur borrsjunkningssynpunkt bl a en siltsten från 65-metersnivån, men också andra partier av lerskiffer som inte gav något vatten exempelvis på nivån 52,5-53,5 meter, se figuren.

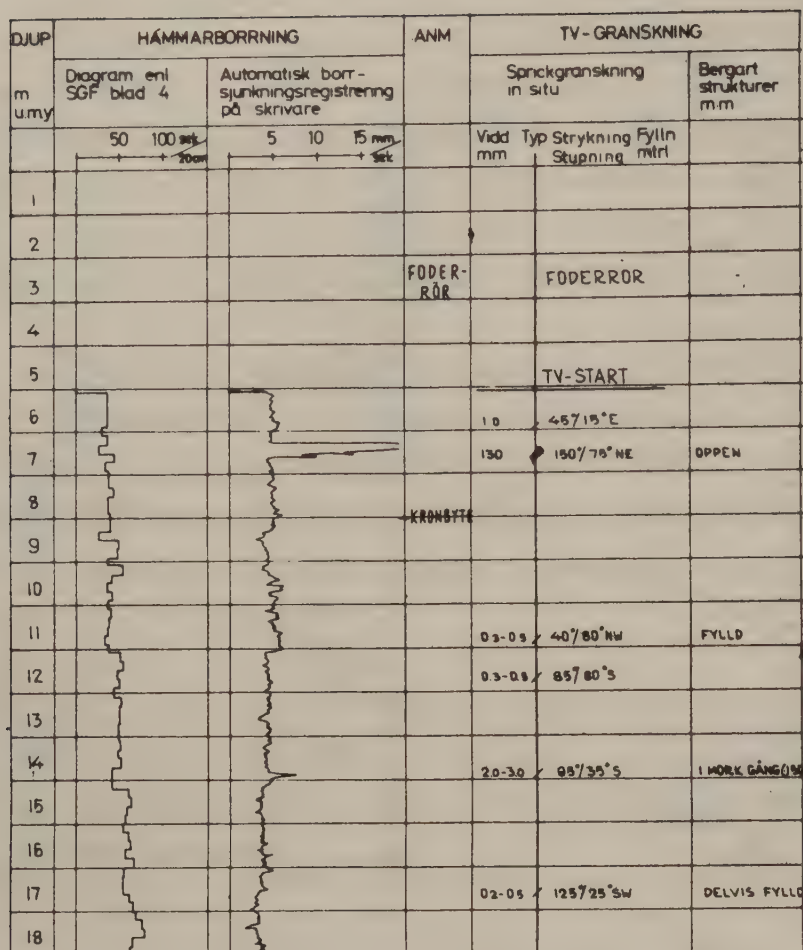
De två exemplen hittills har gällt hammarborrning i sedimentärt berg, där borrsjunkningen som isolerad parameter snarare är användbar för kartläggning av lagergränser än för lokalisering av enskilda sprickor.



Figur 7.17

Borrsjunksdiagram visande (A) en vattenförande sprickzon i lerskiffer, (B) liknande borrsjunkskurva, men genom en siltsten och (C) snabb borrsjunkning i lerskiffer utan vattenförande sprickor (Undersökningsborrning vid LTH)

I kristallint berg blir förhållandena annorlunda. Bergman (1975) redovisar ett antal hammarborrade hål i kristallin berggrund, där borrsjunkningen registerats automatiskt med en nivårelaterad kurva. I jämförande syfte har sedan de färdiga hålen sprickkarterats med TV-kamera. Ett av borrhålen visas i figur 7.18



Figur 7.18

Del av bergsonderat borrhål med borrsjunkningsregistrering dels med manuell mätning och dels instrumentell kontinuerlig registrering. Hålet har sedan sprickkarterats med TV-kamera (Bergman 1975)

Som framgår av exemplet kommer inte alla sprickor att framträda i diagrammen. Bergman anger som en sammanfattande kommentar att enskilda sprickor kan detekteras ned till ca en centimeters storlek. Detta är en betydlig bättre upplösning än vad som fås med det manuella mätningsförfarandet, se exempelvis den stora öppna sprickan på nivån 6,5 m i figuren. I och för sig är upplösningen större, vilket visar sig i att sprickor med större vidd än ett par millimeter nästan undantagslöst

syns, men utan facit i form av TV-granskning skulle de näppligen kunnat tolkas som sprickor. Hur hög upplösning som går att nå har främst att göra med instrumentets känslighet, och med vilket intervall impulserna ges.

Det instrument som utvecklats inom STU-projektet, se sid 215, ger en impuls för var 1,25 mm sjunkning, och har en upplösning av 1:256 inom alla mätområden, vilka kan väljas ligga mellan 5 och 100 min/m. Med detta instrument registrerades borrsjunkningen vid de tre kärnbörningar som utfördes vid Kallax Stenbrott i Luleå och som tidigare beskrivits i avsnitt 7.1.4.

För att få en uppfattning om man utifrån borrsjunktionsdiagrammen kunde utläsa sprickor, bergartsgränser, krosszoner och leromvandlade zoner, utfördes en kärnkartering. Resultatet av jämförelsen mellan vad som var utläsbart från borrsjunktionskurvorna och vad som karterades på kärnorna framgår av tabell 7.3.

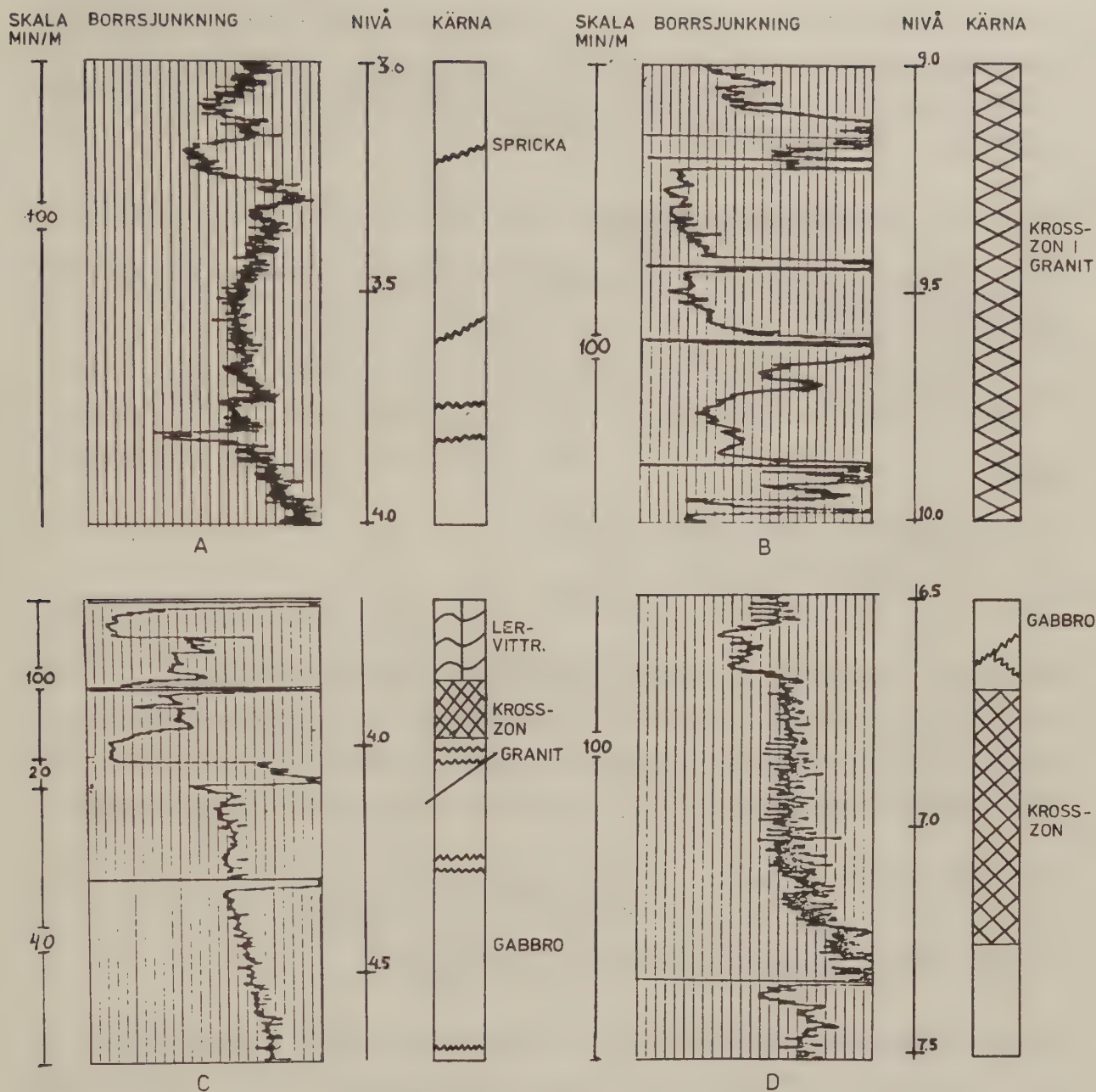
OBJEKT	ANTAL			IDENT %
	Hål 1	Hål 2	Hål 3	
<u>Bergartsgränser</u>				
Kärnkart	7	6	0	54
Från borrsj	3	4	0	
<u>Krosszoner</u>				
Kärnkart	3	3	0	100
Från borrsj	3	3	0	
<u>Lerzoner</u>				
Kärnkart	1	1	0	100
Från borrsj	1	1	0	
<u>Enskilda sprickor</u>				
Kärnkart	26	22	13	65
Från borrsj	16	14	10	

Tabell 7.3

Kärnkarterade och andel identifierade parametrar från borrsjunktionsmätning vid diamantkärnbörning vid Kallax Stenbrott, Luleå

Det skall här framhållas att vad som angetts vara detekterbara bergparametrar i tabellen är i någon mån subjektivt och flera av strukturerna, sprickorna m m skulle kanske inte vara uttydbara endast med hjälp av borrsjunkningsförloppet. Detta framgår också av exemplifieringen av borrsjunkningsdiagrammen i figur 7.19.

Den praktiska nyttan med att registrera borrsjunkning vid kärnbörning ligger i att också få en komplettering till dokumentationen vid kärnförlust, något som normalt uppträder i svaghetszoner. En annan orsak kan vara att använda borrsjunkningen som ett borrhetsindex, vilket tidigare behandlats, se avsnitt 7.1.4.



Figur 7.19

Borrsjunksningsförloppet genom (A) gabbro med enstaka sprickor, (B) krosszon i granit, (C) en komplex övergång från lerzon via krosszon i granit till sprickfattig gabbro och (D) gabbro som slutar i krosszon

7.2 Spolflödesmätning

Vid rotationsborrning med direktspolning och i viss mån även omvänd spolning finns möjligheter att registrera hur stor del

av spolvätskan som trycks ut i de formationer som genomborras. Att mäta dessa sk spolförluster fyller två funktioner dels en borrarsteknisk och dels en dokumentär. Det är den senare som här skall behandlas.

7.2.1 Teoretisk bakgrund

Spolvätskan har ett hydrostatiskt tryck mot hålbotten som kan beskrivas enligt

$$P_s = H \times D_v \quad 7.13$$

där

P_s = hydrostatiskt tryck (mvp)

H = vätskepelarens höjd (m)

D_v = vätskans densitet (ton/m³)

Vätskans densitet är främst avhängigt hur mycket material (kax och tillsatsmedel) som finns suspenderad i spolning och blir därför variabel. Bl a inverkar borrarjunkningen på så sätt att ju snabbare borrarningen går ju större mängd kax transporteras.

Då rent vatten används brukar spolvätskans densitet ligga runt 1,2 g/cm³ (Campbell/Lehr 1974), vilket tumregelmässigt kan sägas utgöra densitetsfaktorn i ekv 7.13.

Då en permeabel zon påträffas under borrarningen kommer denna att ge sig tillkänna som en mer eller mindre tydlig spolvätskeförlust. Detta förutsätter dock att vatten utan tätande tillsatser används och att trycket i den permeabla zonen inte är större än spolvätskepelarens.

Mottrycket i borrhålet kan beskrivas som den trycknivå det grundvatten har som fyller porer eller sprickor i den permeabla zonen. Refererar man denna nivå till markytan kan det mot borrhålsbotten verksamma trycket P' skrivas som

$$P' = P_S - P_A \text{ (mvp)} \quad 7.14$$

där P_S är spolvätskepelarens tryck enligt ekv 7.13
och P_A är porttrycket i den permeabla zonen (mvp).

Spolförlustens storlek bör teoretiskt variera linjärt med P' .

I permeabla zoner utan porvatten (dvs ovan grundvattennivån) blir P' approximativt likvärdigt med P_S , och i sådant läge står i ett direkt samband med det permeabla lagrets hydrauliska konduktivitet (permeabilitet), K , vilken vid laminärt flöde definieras enligt Darcys lag som

$$V = K \times i \quad 7.15$$

där V = hastighet (m/s)
och i = flödes- eller tryckgradient

$$\text{Då } V = \frac{Q}{A} = K \times i \quad 7.16$$

där Q är flöde (m^3/s)
och A är genomströmningsareal (m^2)

kan om spolförlusten sättes som Q_S denna tecknas som

$$Q_S = A (K \times i) \text{ (m}^3/\text{s)} \quad 7.17$$

Antas att gradienten, i , är direkt proportionell mot tryckskillnaden, P' , i borrhålet kan P' omskrivas till en dimensionslös konstant, e , enligt

$$e = \frac{P'}{1} \quad 7.18$$

Används konstanten, e , som gradient kan, analogt med ekv 7.17, spolförlusten vid borrning under grundvattennivån skrivas som

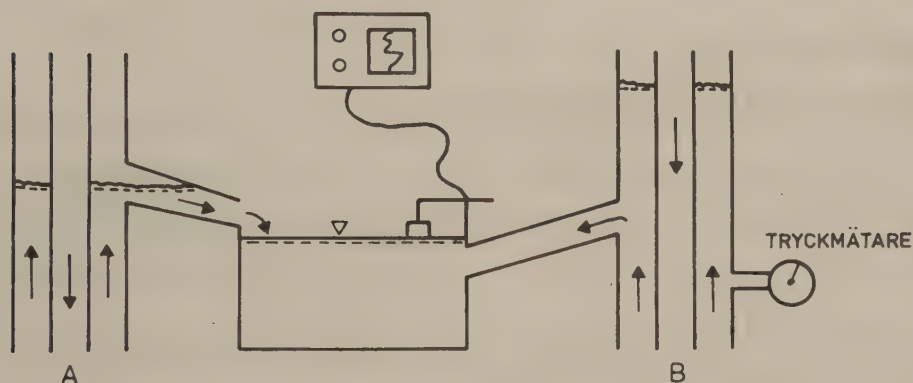
$$Q_s = A \cdot (I \times e)$$

7.19

där I utgör ett permeabilitetsindex som ger ett relativt mått på genomsläppligheten.

Med känd påverkad borrhålsarea, A , och likaledes känd tryckskillnad, P' , finns således teoretiska möjligheter att genom spolvätskeförlusten få ett grepp om permeabiliteten hos de lager som genomborras.

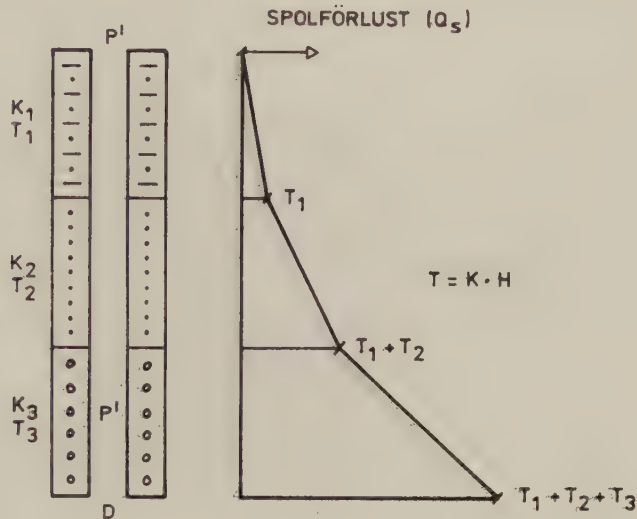
Själva spolförlusten är mätningstekniskt relativt enkel. Det förfaringssätt som vanligen kommer till användning - och då i huvudsak inom oljeborrningen - framgår av figur 7.20.



Figur 7.20 Spolförlustmätning inom oljeborrningen.
(A) Mätning i muddtank med flottör eller liknande och (B), kompletterat med tryckmätare på foderrör.

Med flottör eller liknande registreras nivåvariationer i spolvätskebassäng (figur 7.20 A) eller också för att öka känsligheten och för att få en snabbare detektering används tryckmätare som står i hydraulisk kontakt med spolvätskan inuti foderröret (Rochou 1973). I det sistnämnda fallet måste utloppsröret gå fullt, se figur 7.20 B.

Själva spolförlustens storlek och förlopp är beroende av en rad faktorer. Primärt och omedelbart inverkar den permeabla zonens hydrauliska egenskaper och sekundärt inverkar förändrade förhållanden till följd av bl a igensättning och förändrat borrhningsförfarande.



Figur 7.21

Teoretisk spolförlust (Q_s) vid borrhning genom tre lager med olika permeabilitet (K) och transmissivitet (T) under konstant övertryck i borrhålet (P')

Om man först betraktar de primära faktorerna, inverkar i första hand permeabiliteten, K , eller ackumulerat transmissiviteten, T , se figur 7.21. Med hänvisning till figuren samt ekv 7.18 och 7.19 skulle varje lagers spolförlust kunna sättas i samband med rådande genomsläpplighet enligt

$$Q_s = I \cdot \pi D \left(\frac{H+D}{4} \right) \cdot e \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad 7.20$$

där Q_s = spolförlust (m^3/s)
 I = permeabilitetsindex (m/s)
 H = lagrets mäktighet (m)
 D = borrhålets diameter (m)
 e = konstant enligt ekv 7.18

Ett transmissivitetsindex, T , kan sedan beräknas som

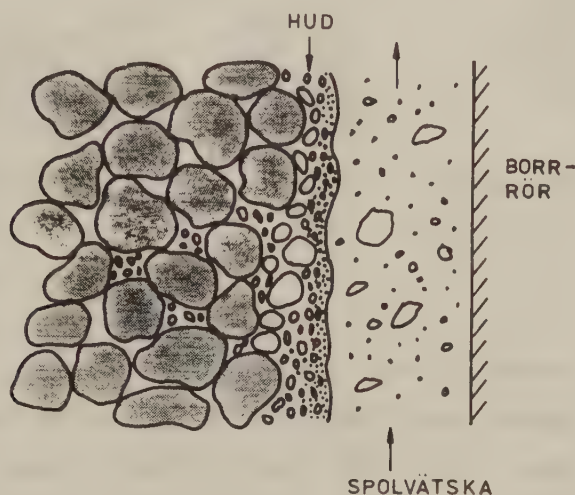
$$T' = I \times H$$

Teoretiskt betraktat skulle man av vad som hittills sagts kunna använda spolförlusten för att beräkna vissa hydrauliska parametrar. Mot detta talar emellertid en rad sekundärt påverkande faktorer, vilka var för sig har en mer eller mindre störande inverkan på beräkningsmöjligheterna. Bland dessa märks

- Varierad spolvätsketillförsel genom dels reglering av spolpump, dels genom förändring av borrhningsparametrar (bl a tryck på borrhkrona, rotationshastighet och borrh-sjunkningshastighet) och dels hydrostatisk förändring i borrhålet (bl a till följd av spolförlust och förändrad spolvätskedensitet).
- Störningar i mätningssförfarandet orsakat av bl a mätningstekniska problem, rörpåskarvning, omborrning och rensning, fördröjningseffekter och kaxprovtagning.
- Störningar i borrhålet med successiv igensättning av permeabel zon samt öppning av redan igensatt sådan genom nötning av borrhör.

Förutsatt att inga större borrhnings- och mätningstekniska problem uppstår blir den successiva igensättningen den klart dominerande faktorn.

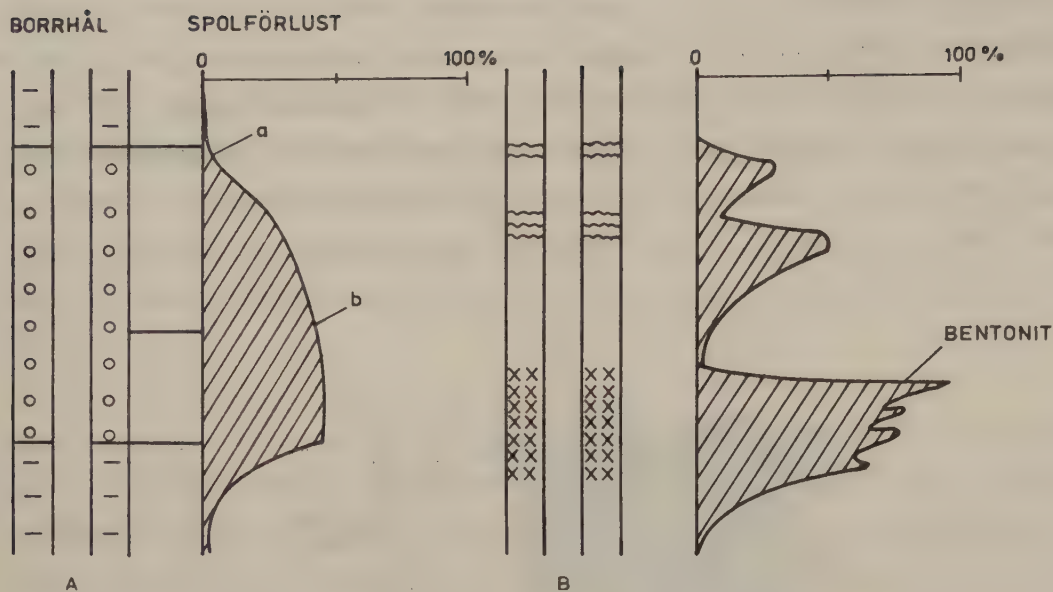
Som tidigare nämnts kommer spolvätskan att suspendera en mer eller mindre stor mängd finpartiklar, se avsnitt 6.3.2. Då ett permeabelt poröst lager påträffas och en spolförlust börjar uppträda kommer dessa partiklar att successivt medverka till att spolförlusten hämmas. Man får en tätande hud av finpartiklar mot och en bit in i hålväggens porsystem, se figur 7.22.



Figur 7.22 På borrhållsväggen bildas en hud av finpartiklar, vilken minskar spolförlusten.

Det ligger i sakens natur att igensättningsprocessen är komplex och mycket svår att renodla i matematiska termer. Mina egna erfarenheter av spolförlustmätningar har dock visat att processen går att beskriva i relativa och principiella termer.

Som figur 7.23 A antyder har det visat sig att spolförlusten följer ett någorlunda odramatiskt förlopp i homogena permeabla formationer. I det idella fallet fås en successivt tilltagande spolförlust fram till det ögonblick då den övre delen av lagret inte längre förorsakar några förluster.



Figur 7.23

Idealiserat spolförlustförlopp vid borrhning genom (A) grovsediment över- och underlagrat av lera samt (B) konsoliderat sprickförande berg med krosszon som ger 100 %-iga spol-förluster, vilket åtgärdas med exempelvis bentonit.

Härvid uppträder ett jämviktsläge som upprätthålls genom att "färska" permeabla ytor öppnas kontinuerligt i hålbotten och att den successiva igensättningen på hålväggen är relativt likformig genom hela formationen.

Vid borrhning genom sprickförande lager bör teoretiskt betraktat förloppet bli annorlunda, eftersom spricksystem oftast utgör en punktvis uppträdande högpermeabel struktur. Zoner med mindre sprickor blir självtätande enligt samma principer som gäller för porösa medier, dock med den skillnaden att tätningen går snabbare. Spolförlustens inledning framträder tydligare än i porösa lager, se figur 7.23 B. Då större enskilda öppna sprickor eller en uppkrossad zon påträffas blir förloppet ofta dramatiskt. Det är i sådana situationer inte helt ovanligt att all spolvätska tränger ut i sprickorna. För att borrhningen då skall kunna fortsätta krävs en artificiell tätning. Normalt

kan denna göras genom att blanda bentonit eller annan gelande tillsats i spolvattnet, se avsnitt 4.4.1. I extrema fall måste andra tätningsåtgärder tillgripas. Bl a förekommer pappers-tugg, bark och liknande. Ett annat sätt är att täta med cement.

Normalt sett bör man således ur spolförlustens uppträdande och förlopp dels kunna konstatera förekomst av permeabla zoner, men dels också göra en kvalitativ bedömning om det rör sig om permeabla porsystem eller om sprickor.

7.2.2 Spolförlustens användbarhet för analys av hydrauliska parametrar - Resultat av några försök

Inom oljeborrningen används spolförlustmätningar främst i syfte att förebygga borrningstekniska problem. Att använda mätningarna för dokumentärt ändamål begränsas av spolvätskans sammansättning, vilken alltid innehåller substanser som är tillsatta just för att förhindra uppkomst av spolförluster.

Vad gäller den typ rotationsborrning med direktspolning som förekommer inom främst brunnsborrningen och gruvindustrin (diamantborrning) görs inga systematiska spolförlustmätningar. Om man över huvudtaget uppmärksammar spolförluster i dokumentärt syfte inskränker sig detta till ett kort notering att det förekommit under borrningen och möjligen en grov uppskattning av storleken. I litteraturen har jag bara hittat en referens, som omnämner spolförlusten ur dokumentär synvinkel (Moye 1967), men bara ytligt.

De försök jag utfört härstammar från åren 1971-1973 då jag följde och dokumenterade ett 10-tal undersökningsborrningar (rotationsborrning med direktspolning) på Kristianstadsslätten och ett 20-tal sk skotthålsborrningar som Oljeprospektering AB lät utföra i sydvästra Skåne.

De första mätningarna utfördes med mycket enkel teknik, en mätsticka i spolbassängen. Genom att avläsa denna manuellt efter var meters borrning erhöles en god uppfattning om spolförlusternas förekomst och storlek i relation till borrhingsnivå. Mätningarna stördes dock i hög grad av att man när de började uppträda kompenserade förlusten med tillskott av nytt vatten till bassängen, ofta tillsammans med inblandning av bentonit.

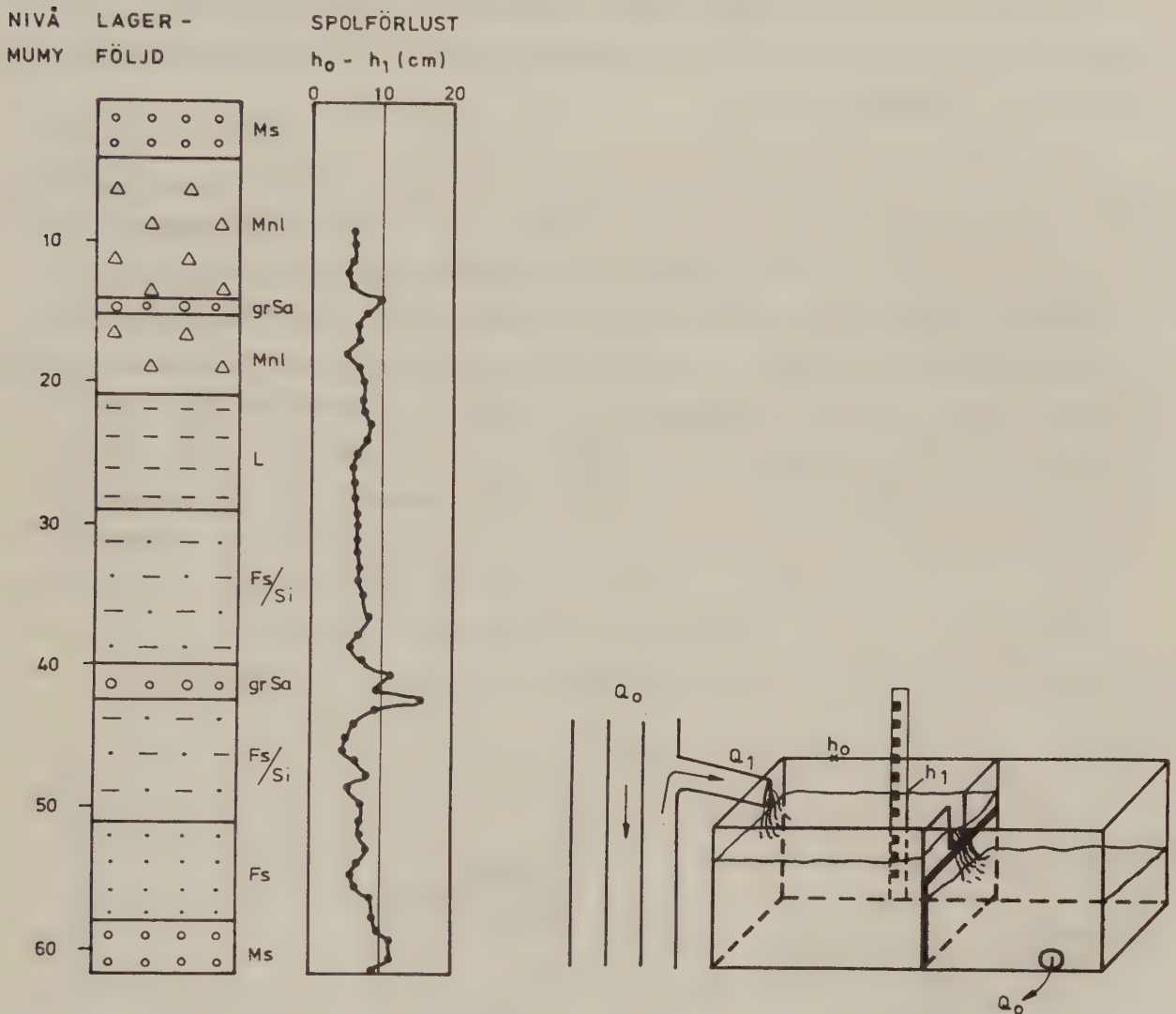
Vid den borrning vid Löddeköpinge i Skåne som tidigare omnämnts i kapitel 6.3.2, sid 174, och som uteslutande fortgick genom jordlager användes markuppställda spolvätskekar med överfallande spolvattenströmning mellan sedimentations- och vattenpåfyllningskar. Överfallet gjorde att störning pga påfyllning kunde undvikas. Eftersom sedimentationskaret dessutom var kubiskt återspeglade nivåvariationen ett linjärt samband med spolförlusten. Under borrhningen tillfördes spolvätska i stort sett konstant motsvarande ca 10 l/s (600 l/min). Inga tillsatser användes.

Nivåavläsning skedde efter var meters borrning och resultatet framgår av figur 7.24 som också illustrerar mätningförfarandet.

För att få en uppdämningseffekt användes ett skibord med U-form och med måtten, höjd 30 cm samt bredd 5 cm. Vid varje rörpåskärvning (vilket innebär att spolpumpen stängs) blockades överfallet.

Resultatet av mätningen visar på ett klart samband mellan spolförlusternas uppträdande och storlek och den genomsläpplighet man kan förvänta sig med hänsyn till kornstorlek, sorteringsgrad m m i de lager som genomborrades. (Lagerföljden är upprättad främst med hjälp av prover som togs i kärl direkt vid utloppsröret till spolkaret.) Bl a framträder ett par förlusttoppar i anslutning till kaxprover med sandigt grusigt material. Dessa permeabla zoner självvtätades dock snabbt,

vilket i sin tur kan förknippas med den nedgång av suspenderade finpartiklar i spolvätskan som tidigare redovisats, se tabell 6.2, sid 174.

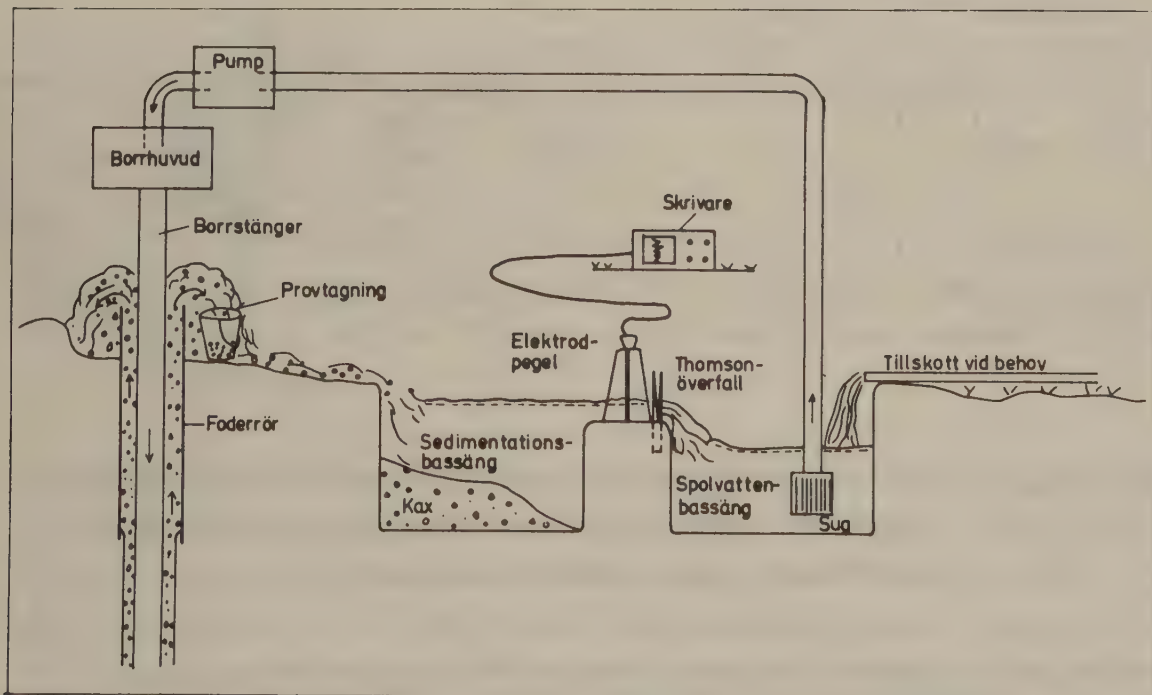


Figur 7.24 Resultat av spolförlustmätning vid rotationsborrning med direktspolning genom 62 meter jordlager vid Löddeköpinge 1971

I avsikt att närmare studera själva förloppet för spolförlustens uppträdande och upphörande utförde jag en kontinuerlig spolförlustmätning i samband med en undersökningsborrning i Borrestad på Kristianstadsslätten, se figur 7.1.

För att uppnå en kontinuerlig registrering användes en pegel (elektrodstav) som avläste vattenytan i sedimentationsbassängen med ca 0,5 cm noggrannhet. Från pegeln gick impulserna till en skrivare där nivåvariationen utritades på ett papper med konstant frammatning. Vattenståndets nivåvariation i relation till borrhningsdjup erhöles genom att markera varje meter på pappersremsan.

Försöket anordnades så att pegeln placerades i en ränna mellan två bassänger, en för sedimentation och en för tillförsel av nytt spolvatten. Före spolvattenbassängen placerades ett skibord (Thomson-överfall) med vinkeln 90° , som på höjden ca 15 cm avbördade de 600 l/min som var det ungefärliga spolningsflödet utan förluster. Genom att kalibrera pegeln till skibordets avbördning erhöles således ett direkt mått på återflödet av spolvatten. Arrangemanget för mätning och provtagning framgår av figur 7.25.



Figur 7.25

Arrangemang för spolförlustmätning i Borrestad
(Andersson 1974)

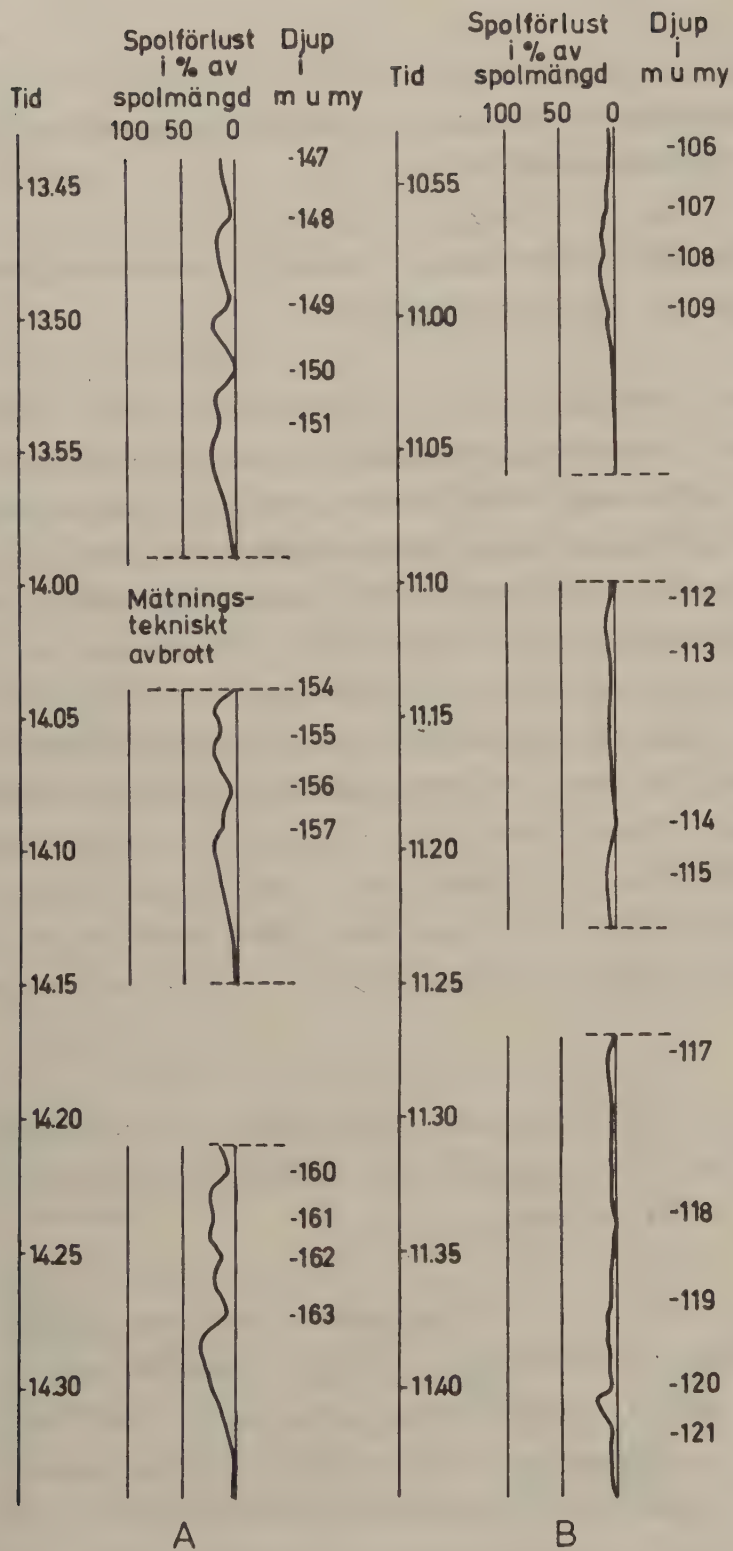
Resultatet av mätningen framgår av figur 7.1 men där i sammanfattande och schematiserad form.

Studerar man primärkurvorna mer i detalj finner man ett par genomgående mönster, se figur 7.26.

Genom kalkstenen, som på figur 7.1 betecknats som skalgruskalksten uppträder inga mätbara spolförluster över huvud taget. I sekvensen därunder med växellagring mellan kalksandsten, sandkalksten och enstaka lager med sandsten uppmättes diffusa mindre spolförluster som inte direkt gick att nivårelatera till enskilda lagerenheter. Visserligen finner man en märkbar spolförlust på nivån 107-109 m, se figur 7.26, som kan förknippas med ett tunt sandstenslager men upplösningen är inte tillräckligt stor för att ge närmare upplysning av spolförlustförloppet. Däremot framträder en relativt stor men snabbt upphörande spolförlust på nivån 120 m, se figur 7.26 B. Denna kan sättas i samband med ett tunt men hårt band av kalksten som orsakade ett ryckigt borrarbeteende, vilket indikerar sprickor.

De mest märkbara spolförlusterna uppträdde i sandstenen på nivån 136-195 meter. Som framgår av figuren finns det ett tydligt mönster i förloppet.

Detta orsakas bl a av att ett förfarande med separerad kaxtransport användes, se figur 6.8, vilket innebär att ett kort uppehåll gjordes mellan varje meters borrarbete. Den markerade spolförlust som inträffade vid varje ny påbörjad meter och som sedan successivt avtog under neddrivningsuppehållet torde återspegla en initiell spolförlust på "färska" ytor följt av successiv igensättning enligt teori i föregående avsnitt (se bl a figur 7.23). En återgång av spolförlusten fås dessutom genom att spolvätskans densitet och därmed hydrauliska tryck i hålet minskar allt eftersom kaxet avskiljs vid uppspolningen.



Figur 7.26

Spolförlustförloppet i (A) svagt konsoliderad grovkornig sandsten och (B) i kalksandsten/sandkalksten (Andersson 1974)

Den maximalt nådda spolförlusten nåddes i princip direkt efter varje avslutad meter och approximativt kan antas att hela den genomborrade metern då mottog vatten efter sin permeabla förmåga. Appliceras ekv 7.20 på denna teori kan varje meters I-värde beräknas. Tag exempelvis nivån 148-149 meter med följande förutsättningar: Spolförlust 18 % av spolflödet som genom sandstenen var ca 8 l/s. Spolförlust vid borrningens början var 4 %, vilket gör 14 % verklig maximal förlust under den borrarade metern. Detta motsvarar ett flöde av $1,12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Då borrhingsdimensionen var 193 mm blir mantel- och hålbottenytan ungefär $0,20 \text{ m}^2$. Tryckskillnaden i hålet (ekv 7.14) blir med en antagen densitet på spolvätskan av 1,1 (lågt kaxinnehall) och med en grundvattennivå 5 meter under markyta ca 20 mvp. Ekv 7.20 ger

$$1,12 \times 10^{-3} = I \times 0,20 \times 20$$

$$I = \frac{1,12 \times 10^{-3}}{4} = 2,8 \times 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

Med samma beräkningsmetod blir det genomsnittliga I-värdet för sandstenen på nivån 136-195 m, beräknat på 10 analyser ca $2,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$. Detta ger ett T'-värde (transmissivitet) av ca $1,4 \times 10^{-2}$ för hela detta sandstenslager.

Senare byggdes en brunn med brunnsfilter på nivån 78-195 meter. Förutom sandstenen utnyttjades således hela sekvensen sandkalksten/kalksandsten mellan 83 och 136 meter, vilken med undantag av nivån 83-102 m gav knappast mätbara spolförluster.

Vid provpumpningen av brunnen (VIAK AB, 1974) beräknades T-värdet till ca $3,5 \times 10^{-2}$ vilket utslaget på filterlängden (117 m) ger ett K-värde per meter av $2,9 \times 10^{-4}$, dvs något högre permeabilitet än vad indexberäkningen utifrån spolförlusten gav för sandstenen. Denna skillnad förstärks om hänsyn tas till kalksand- och sandkalkstenarnas jämförelsevis sämre permeabilitet.

Spolförlustmätning och utvärdering av sådana mätdata befinner sig utvecklingsmässigt på ett inledande stadie och frågetecknen är många. De teorier och de resultat som redovisas ovan tyder dock på att metoden har möjligheter att utvecklas och kanske i framtiden kunna bli ett hjälpmedel att få mer detaljerad information om såväl lageruppbyggnad som hydrauliska lageregenskaper vid spolborrningsförfaranden.

LITTERATUR

Adolfson, J., Rånman, K-E., Värdering av borrarbarhetstester för mekanisk sönderdelning av berg. Högskolan i Luleå, Tekn. rapport 61T, 1978

Andersson, O. H., Metodik för insamlande av geologiska data vid undersökningsborrningar med rotationsbormaskin. IX Nord. Geol. Vintermötet, Uleåborg 1974

Andersson, O. H., Gustafson, G., Värmelagring i djupa slutna grundvattenmagasin. Byggforskningsrådet R101:1980

ASTM Standards. Penetration test and split barrel sampling of soils. D-1586 (Årlig utgivning)

Atlas Copco, ODEX-metoden. Jordborrning enligt excenter-metoden. Atlas Copco MCT, trycksak nr 15490, Stockholm 1975

Atlas Copco, Sänkborrning med COP sänkbormaskiner. Atlas Copco MCT, trycksak nr 15313 a, Stockholm 1976

Atlas Copco, Craelius, "Diamantborkronor", broschyr utan årtal

Atlas Copco, "Augerborrning", broschyr utan årtal

Barrett, J. L., Drilling research develops low-cost diamond bits. Engineering and Mining Journal, vol 163, No 5, May 1962

Bergdahl, U., Dahlberg, R., Utveckling av den svenska hejar-sonderingsmetoden. Byggforskningsrådet R72:1973

Bergman, M., Borrhålsundersökningar i berg. Tillförlitlighetsvärdering av metoder. Byggforskningsrådet R17:1975

Bibeln, 1917 års översättning

Bieske, E. sen., Bieske, E. jun., Bohrbrunnen. Oldenbourg Verlag, München 1973

Bjork, R. L., Calculations of earth penetrators impacting soils Pacifica Technol. California. Report AD-A046236, 1975

Bowman, I., Well drilling methods. U S Geol. Survey, Water Supply Paper No 257, 1911

Brantly, J. E., Percussion-drilling system, i History of petroleum engineering, ed. D.V. Carter. American Petroleum Institute, 1961 (a)

Brantly, J. E., Hydraulic rotary-drilling system, i History of petroleum engineering, ed. D.V. Carter. American Petroleum Institute, 1961 (b)

Brotzen, F., Dagboksanteckningar från borrhningen Ljunghusen 1954

Brown, K. H., et al (ed.) Groundwater studies. An international guide for research and practice. Studies and Reports in Hydrogeology 7. Unesco, Paris, 1972

Bruce, W. E., Bureau of Mines conducts diamond drilling experiments. The Mines Magazine, April 1968

Cambefort, H., Bohrtechnik. Bauverlag Wiesbaden, Berlin 1964

Campbell, M. D., Lehr, J. H., Water well technology, McGraw - Hill, New York, 1974

Cheatham, J. B., An analytical study of rock penetration by a single bit tooth. 8th Annual Drilling and Blasting Symposium, Univ. of Minnesota, 1958

Church, M., Mud pressure aids cable tool drilling, Johnson Driller's Journal No 3, 1960

Clarke, S., Englebach, R., Ancient Egyptian Masonry, Oxford University Press, London 1930

Coldre, L., Les Salines et les Puits des Feu du Se-Tchouan. Ann. de Mines. Vol. 19, 1891

Cunningham, R. A., Laboratory studies on the effect of rotary speed on rock-bit performance and drilling cost. Americ. Petrol. Inst., Drilling and Prod. Pract., 1960

Cunningham, R.A., Eenink, J. G., Laboratory study of effect of overburden formation and mud column pressures on drilling rate of permeable formations. Trans. of AIME, vol. 217, 1959

Davis, S. N., De Wiest, R. I. M., Hydrogeology. John Wiley and Sons, New York, 1966

Deutsche Normen, DIN 4021, Blatt 1. November 1969

DVGW-Merkblatt W 115 "Bohrungen bei der Wassererschließung", februari 1977

Eckel, J. R., Rowley, D. S., How rotary speed affects penetration. Oil and Gas Journal, No 47, Nov., 1957

Edwards, J. H., Engineering design of drilling operations. Americ. Petrol. Inst., Drilling and Prod. Pract., 1964

Fairhurst, C., Possibilities and limitations of rotary drilling in hard rocks. Trans. Inst. Min. Engineers, Vol. 115, part 2, 1956

Fairhurst, C., Lacabanne, W. D., Some principles and developments in hard rock drilling techniques. 6th annual drilling and blasting symp. Minneapolis, October 1966

Falkman, H., Dammbekämpning vid bergborrning. Tryckluft nr 2, 1978

Finkel, M., Kalldin, B., Lundberg, B., Lundquist, B., Meyer, O., Kompendium i bergborrning. Atlas Copco 1969

Fischer, H. C., Theory and application of longitudinal impact. Part 1: Elastic longitudinal impact with some reference to rock drilling. Tryckluft nr 1, 1961

Fischer, H. C., Theory and application of longitudinal impact. Part II: Pile driving and other cases of frictional resistance. Tryckluft nr 2, 1962

Fischer, H. C., Hellman, L., Påslagningen och stötvågs-teorin. Väg- och vattenbyggaren, 9, SVRs förlag, Stockholm, 1963

FORACO, The VPRH drilling system, Broschyr utan årtal

Fraenkel, K. H., Karlström, G., Terminologi, Handbok i bergsprängningsteknik del 4:01, Stockholm 1961

Furby, J., Test for rock drillability. Mine and Quarry Engineering, July, 1964

Garner, W. E., Cutting action of a single diamond under simulated borehole conditions. Trans. SPE of AIME. Vol 240, 1967

Gray, K. E., Two-dimensional study of rock breakage in drag-bit drilling at atmospheric pressure. Trans. SPE of AIME, Vol 225, 1962

Ground Engineering, The CSR drilling and sampling system.
Artikel utan angiven författare, november 1977

Gstalder, S., Raynal, Jr., Measurement of some mechanical properties of rocks and their relationship to rock drillability. Trans. SPE of AIME, Vol. 237, 1966

Gustafson, G., Formel för kaxpartiklars transporthastighet vid luftspolning. Handskrivet koncept, 1981

Hagen, G., Handbuch der Wasserbaukunst, Vol. 1. Königsberg, 1853

Hallberg, G., Försök angående bergarters relativa borrhingsmotstånd och relativa nafvarnötning. Beckmans Boktryckeri, Stockholm, 1897

Hartman, H. L., Basic studies of percussion drilling. Mining Engineering, Jan. 1959

Hartman, H. L., Crater geometry relations in percussive drilling. Mine and Quarry Engineering, Dec. 1962

Holdo, J., Från Mont Cenis till Mont Blanc. Den tryckluftsdrivna bergborrmaskinens utveckling under 100 år. Tryckluft nr 3-4, 1961

Howard, G. C., Scott, P. P., An analysis and the control of lost circulation. Trans. SPE of AIME, Vol. 192, 1951

Huisman, L., Groundwater Recovery. Mac Millan, London, 1972

Hustrulid, W. A., A study on energy transfer to rock and predictions of drilling rates in percussive drilling. Thesis. Univ. of Minnesota, 1965

Hustrulid, W. A., Theoretical and experimental study of percussive drilling of rock. Thesis. Univ. of Minnesota, 1968

International Society For Rock Mechanics, Recommendations on site investigation techniques. Final report, July 1975

Janelid, I., Bergborrningsmetoder och deras användningsområden. Handbok i bergsprängningsteknik 8:30, Stockholm 1957

Johnson Division, Ground water and wells. Saint Paul, Minnesota, 1975

Jorden, J. R., Shirley, O. J., Application of drilling performance data to overpressure detection. SPE reprint series, No 6 a, 1973

Kjellson, H., Försvunnen teknik. Nybloms, Uppsala, 1961

Lager, L., Prospekteringsborrning. Tryckluft nr 1, 1974

Lindberg, J., Muntligt meddelande, 1980

Lindvall, P-E., Röshoff, K., Testning av borrsjunkningshastighetens beroende av bergmassans mekaniska egenskaper under kärnborrning. Avd för Bergmekanik, Högskolan i Luleå, koncept utan årtal

Lundberg, B., Some basic problems in percussive rock destruction. Chalmers Tekniska högskola, Thesis nr 115, 1971

Lundberg, B., Lundquist, B., Meyer, O., Statisk och dynamisk inträngning av ett skär i berg - beräkningsmetoder, brottskriterier och experiment. IVA rapport 4, 1968

Lundin, L., Atlas Copcos vattenborrtrrustningar. Tryckluft nr 1, 1977

Malmbergs i Yngsjö AB, Borrning med polygripskopa, och rotationsborrning med omvänd spolning. Illustrationer utan årtal

Maurer, W. C., Novel drilling techniques. Pergamon Press, London 1968

Maurer, W. C., Impact crater formation in sandstone and granite. M. S. Thesis T-887, Colorado School of Mines, 1959

Maurer, W. C., The perfect cleaning theory of rotary drilling. Trans. SPE of AIME, Vol. 225, Nov 1962

Maurer, W. C., Shear failure of rock under compression. SPE of AIME, Vol. 234, 1965 (a)

Maurer, W. C., Bit tooth penetration under simulated borehole conditions. Journ. of Petrol. Technol., Dec., 1965 (b)

Maurer, W. C., The state of rock mechanics knowledge in drilling. Proc. of the 8th symp. on rock mechanics, Univ. Minn., 1966

Mc Gregor, K., The drilling of rock, CR Books Ltd., London 1967

Mc Lean, R. H., Crossflow and impact under jet bits. Trans. SPE of AIME, Vol. 230, 1964

Mobil Drill, "Auger rigs", broschyr utan årtal

Modig, S., Dokumentation av vattentäkter. Sveriges Geologiska Undersökning. Rapporter och Meddelanden nr 10, 1978

Moore, C. A., Handbook of subsurface geology. Harper and Row, New York, 1964

Moore, W., Six variable factors that affect penetration rate. Oil and Gas Journ., No 15, April, 1960

Moore, W., How to dull a bit for fun and profit. Drilling, March, 1968

Morfeltdt, C., Bergman, M., Lundström, L., Bergundersökningar. Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder, Byggforskningen, R34:1973

Moye, D. G., Diamond drilling for foundation exploration. Civil Engineering Trans., Vol 9, No 1, 1967

Murray, A. S., Eckel, J. E., Foam agents and foam drilling. Oil and Gas Journal, Febr., 1961

Nachmanson, A., Sundberg, K., Svenska Diamantborrnings Aktiebolaget 1886-1936. Almqvist & Wiksells, Uppsala, 1936

Needham, J., The grand titration. London 1979

Nilsson, K., Muntligt meddelande, 1980

Norton, W. H., Artesian wells of Iowa. Iowa Geol. Survey, Vol. 6, 1897

NWWA, Committee on Water Well Standard, Manual of water well construction practices. EPA 570/9-75-001, 1976

Opolski, T., Speed of advance and power consumption in rotary drilling. Bergbautechnik, no 12, 1956

Ottosson, L., Hydraulik i slående bergborrning. Tryckluft 2, 1973

Outmans, H. D., The effect of some drilling variables on the instantaneous rate of penetration. Trans. SPE of AIME, Vol 219, 1960

Paone, J., Madson, D., Bruce, W. E., Drillability studies -Laboratory percussive drilling. US Bureau of Mines, Report of Invest. No 7300, 1969

Paone, J., Madson, D., Drillability studies - Impregnated diamond bits. US Bureau of Mines. Report of Invest. No 6776, 1966

Paone, J., Tandanad, S., Inelastic deformation of rock under hemispherical drill bit. US Bureau of Mines. Report of Invest. No 6838, 1966

Paone, J., Bruce, W. E., Drillability studies, diamond drilling. US Bureau of Mines. Report of Invest. No 6324, 1963

Paone J., Unger, H. F., Tandanad, S., Rock drillability for military applications. Arm. Research Office Contract Reports No 15/37, 1968

Paone, J., Madson, D., Bruce, W. E., Drillability studies - laboratory percussive drilling. US Bureau of Mines. Report of Invest. No 7300, 1969

Pariseau, W. C., Wedge indentation of anisotropic geologic media. 12th Symp. on rock mechanics. Univ. of Missouri, 1971

Paul. B., Sikarskie, D. L., A preliminary theory of static penetration by a rigid wedge into a brittle material. Trans., SPE of AIME, Vol. 232, 1965

Paul, B., Gangal, M. D., Why compressive loads on drill bits produce tensile splitting in rock. SPE of AIME. Paper No 2392, 1969

Pauls, D. E., Borings - how made, reported and interpreted. Piletalk seminar on current practices in pile design and installation. Atlanta, Georgia, March 13-14, 1975

Pennington, J. V., Rock failure in percussion. The Petroleum Engineer, May, 1954

Perers, J., Borrningsteknik-jord. Några erfarenheter av metoder för provtagning av jordlager samt sedimentära bergarter. Doktorandseminarium vid Geol Inst Chalmers Tekn Högskola, 27 april 1973

Peterson, S. G., Djupborrning i de tekniska vetenskaperna, band 1. Bonniers, Stockholm, 1931

Petrie, W. M. F., Tool and Weapons. British School of Archeol. in Egypt., No 30, London, 1917

Pfleider, E. P., Lacabanne, W. D., Research in rotary-percussive drilling. Missouri School of Mines. Bull., No 94, 1957

Protodyakonov, M. M., Mechanical properties and drillability of rocks. 5th symp. on rock mechanics, Univ. Minn., May 1962

Pusch, R., Bergmekanik. Almqvist & Wiksell, Stockholm 1974

Rehbinder, G., Erosion of rock with a water jet. Univ. of Luleå, research report nr 2, 1977

Rochou, R. W., Unique device sees well kicks before they surface. World Oil, August 1, 1973

Rowlands, M. E., Some basic aspects of diamond drilling. Proceedings of the first Australia-New Zealand Conf. on Geomech. Vol. 1, Melbourne, 1971

- Sandvik Coromant, Atlas Copco, "ODEX", broschyr S11035, 1977
- Schmidt, R. L., Drillability studies - Percussive drilling in the field. US Bureau of Mines. Report of Invest. No 7684, 1972
- Selim, A. A., Bruce W. E., Prediction of penetration rate for percussive drilling. US. Bureau of Mines. Report of Invest. No 7396, 1970
- Serota, S., Site investigation - rigs design and use. Ground Engineering, Vol. 5, Nr 3, 1972
- SGFs Sonderingskommitté, Förslag till standard och rekommendationer för utförande av jord/bergsondering. Byggforskningsrådet, 1974
- Shepherd, B. F., The connecting link in percussion drilling. Mining Congress Journal, Nov., 1954
- Simon, R., Theory on rock drilling. 6th drilling and blasting symposium, Minneapolis, 1956
- Sivers, H., The determination of the resistance to drilling of rocks. Glückauf, Vol. 86, 1950
- Svantesson, J-O., Inst. för österländska språk, Lunds Universitet. Muntligt meddelande, 1980
- Svensk författningssamling, Lag om uppgiftsskyldighet vid grundvattentäktsundersökning och brunnborrning. SFS 1975:424
- Svenska Konsultföreningen, Geotekniska utredningar, omfattning och genomförande. Handbok - Riktlinjer, 1979
- Tandanad, S., Unger, H. F., Drillability determination - A drillability index for percussion drills. US Bureau of Mines, Reports of Invest. No 8073, 1975

Tolman, C. F., Ground Water. Mc Graw-Hill, New York, 1937

TRW Mission, Percussion drilling equipment. TRW Mission Manufacturing Company, catalog no M500, Houston, 1977

Tröften, P. F., Ground water utilization in hard rocks. Atlas Copco MCT, printed matter No 15317 a, Stockholm 1973

Tsourelis, C. E., Determination of rock drillability in diamond drilling. Trans. SPE of AIME, Vol. 244, 1969

Ulriksen, P., Datalogg för registrering av parametrar under borrhning i berg med tung utrustning. Avd för Tekn Geologi, Lunds Tekniska Högskola, 1980

VIAK AB, Malmö, Borrestads gods. Bevattning. Uppdrag 88.1099, daterad Malmö 1974-02-28

VIAK AB, Malmö, Diverse opublicerat utredningsmaterial från geologiska och hydrogeologiska undersökningar.

Wedel, P., Stomme till föreläsningar i borrhning och hydrogeologi. Duplikat Chalmers Tekn Högskola, Geologiska Inst., 1973

Wilderman, G. H., Exploration drilling techniques used as a "Field Determinator" and data gatherer in mill and plant design. Canadian Inst. of Mining and Metallurgy. Bulletin, Vol 65., 1974

White, C. G., A rock drillability index. Quaterly of Colorado School of Mines, Vol. 64, No 2, April 1969

Whyte, I. L., The development of site investigations. Ground Engineering, Vol. 9, nr 7, 1976

Young, F. S., Computerized drilling control. Trans. SPE of AIME, Vol. 246, 1969

KARTLÄGGNING
TYNGRE BORRTRUSTNINGFORMULÄR 1
ALLMÄN DEL

Samtliga målgrupper

1. UPPGIFTSLÄMNARE

Firma/Inst/Kommun eller liknande

Kontaktman Tel/.....

(Avskiljes av mig för senare destruktion)

2. TUNG BORRTRUSTNING. DEFINITION

Frågeformuläret vänder sig till innehavare av borrartröstning som helt eller delvis ovan jord och med huvudsaklig stationering i Sverige används för borrarning i jord- och/eller berglager i dimensioner normalt från och med 2" (50 mm). Även utrustning för rödrivning ingår således. (OBS! S k "geoteknisk standardutrustning" såsom cobra, motorsond etc samt bandgående vagnar och liknande för geoteknisk sondering/skruvprovtagning gäller ej som tung utrustning.)

☐ Tung borrartröstning enligt ovanstående definition saknas.

V g sätt x i rutan och återsänd formuläret i medsänt kuvert.

2.1 UTRUSTNING FÖR LINSTÖTBORRNING

2.1.1 Antal borrarmaskiner 1966 1971 1976

2.1.2 I vilket(-a) län var maskinen(-erna) mest verksam under 1976☐ Länsbokstav ☐ Antal maskiner☐ " ☐ " "

2.1.3 Monterad(-e) på (ange med antal maskiner i ruta)

☐ Terränggående motorfordon ☐ 2-axlat chassi ☐ annat, v g ange

2.1.4 Ungefärlig "tjänstevikt" (om flera enheter finns, ange antalet i ruta)

☐ ton ☐ ton ☐ ton

2.1.5 Antal borrarningar per maskin (om flera maskiner finns, ange medelvärde)

1966 st 1971 st 1976 st

2.1.6 Uppskattat/beräknat medeldjup per borrarning 1976 m

2.1.7 Hur stor del av året används maskinen(-erna) sammantaget (ange med x i ruta)

1976 ☐ 1/1-3/4 tid ☐ 3/4-1/2 ☐ 1/2-1/4 ☐ mindre än 1/41971 ☐ 1/1-3/4 tid ☐ 3/4-1/2 ☐ 1/2-1/4 ☐ mindre än 1/41966 ☐ 1/1-3/4 tid ☐ 3/4-1/2 ☐ 1/2-1/4 ☐ mindre än 1/4

V g uppskatta från de äldre årtalen om sifferuppgifter ej finns eller

2.2 UTRUSTNING FÖR ROTATIONSBORRNING

Härmed menas utrustning med roterande borrar-krona och ihåliga borrar-stänger varigenom spolvätska, skum eller tryckluft pumpas eller trycks för uppföring av borrar-slam.

2.2.1 Antal borrar-maskiner 1966 1971 1976

2.2.2 Maskinen(-erna) kan användas för (markera med antal maskiner i ruta)

- ☐ Rotationsborrning med direktspolning
- ☐ Rotationsborrning med omvänd spolning ("sugborrning")
- ☐ Tryckluftsborrning
- ☐ Kärnborrning
- ☐ Augerborrning (borrning med spiral el skopskruv)
- ☐ Annat, v g ange

2.2.3 Maskinen(-erna) har funktionsmässigt (markera med antal utrustnings-enheter i ruta)

- ☐ Enbart roterande moment
- ☐ Roterande och slående moment inbyggt i borrarhuvud (topphammare)
- ☐ Roterande och slående moment som nere-i-hålet-utrustning (sänkhammare)
- ☐ Roterande och vibrerande moment
- ☐ Annat, v g ange

2.2.4 I vilket(-a) län var maskinen(-erna) mest verksam under 1976

- | | |
|--------------------------------------|---|
| ☐ Länsbokstav | ☐ Antal maskiner |
| ☐ " " | ☐ " " |

2.2.5 Monterad(-e) på (ange med antal maskiner i ruta)

- ☐ Terränggående motorfordon ☐ 2-axlat chassi ☐ annat, v g ange

2.2.6 Ungefärlig "tjänstevikt" (om flera enheter finns, ange antalet i ruta)

- ☐ ton ☐ ton ☐ ton

2.2.7 Antal borrar-ningar per borrar-maskin (om flera maskiner finns, ange medelvärde)

1966 st 1971 st 1976 st

2.2.8 Uppskattat/beräknat medeldjup per borrar-ning 1976 m

2.2.9 Hur stor del av året används maskinen(-erna) sammantaget (ange med x i ruta)

- | | | | | |
|------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| 1976 | ☐ 1/1-3/4 tid | ☐ 3/4-1/2 | ☐ 1/2-1/4 | ☐ mindre än 1/4 |
| 1971 | ☐ 1/1-3/4 tid | ☐ 3/4-1/2 | ☐ 1/2-1/4 | ☐ mindre än 1/4 |
| 1966 | ☐ 1/1-3/4 tid | ☐ 3/4-1/2 | ☐ 1/2-1/4 | ☐ mindre än 1/4 |

2.3 UTRUSTNING FÖR RÖRDRIVNING

Härmed menas utrustning för neddrivning av rör (med eller utan spets) medelst hejare, hydraulisk eller tryckluftsdreven hammare.

2.3.1 Antal utrustningar 1966 1971 1976

2.3.2 I vilket(-a) län var maskinen(-erna) mest verksam under 1976

☐ Länsbokstav	☐ Antal maskiner
☐ "	☐ " "

2.3.3 Utrustningen(-arna) (ange med antal utrustningar i ruta)

☐ är monterad(-e) på terränggående motorfordon
☐ har fristående hejarbock
☐ annat, v g ange

2.3.4 Ungefärlig "tjänstevikt" (om flera enheter finns, ange antalet i ruta)

☐ ton	☐ ton	☐ ton
------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

2.3.5 Antal borrhningar per utrustningsenhet (om flera enheter finns, ange medelvärde).(OBS! För borrhningsändamålet misslyckade borrhningar ingår ej.)

1966 st	1971 st	1976 st
---------------	---------------	---------------

2.3.6 Uppskattat/beräknat medeldjup per borrhning 1976 m

2.3.7 Utrustningen(-arna) sammantaget var i bruk (ange med x i ruta)

1976	☐ 1/1-3/4 tid	☐ 3/4-1/2	☐ 1/2-1/4	☐ mindre än 1/4
1971	☐ 1/1-3/4 tid	☐ 3/4-1/2	☐ 1/2-1/4	☐ mindre än 1/4
1966	☐ 1/1-3/4 tid	☐ 3/4-1/2	☐ 1/2-1/4	☐ mindre än 1/4

V g uppskatta för de äldre årtalen om sifferuppgifter saknas eller är svåra att plocka fram.

2.3.8 Neddrivning sker medelst ☐ hejare ☐ tryckluftshammare
(om flera enheter, sätt antal i ruta) ☐ annat, v g ange

KARTLÄGGNING
UTRUSTNING BORRUTRUSTNING

FORMULÄR 2
SPECIELL DEL

Brunnsborrare m fl

FÖR ER MED UTRUSTNING FÖR:

1 LINSTÖTBORRNING

1.1 De under 1976 gjorda borrhningarna har utförts i samband med (ange ungefärligt antal i ruta)

- ☐ "normal" brunnsborrning ☐ undersökningsborrning för vattentäkt
☐ undersökningsborrning för annat ändamål (ange).....

1.2 Andelen undersökningsborrning har under 1976 i omfattning (markera med x)

- ☐ ökat ☐ minskat ☐ ungefär samma jämfört med 1971

1.3 Vanligaste dimension vid brunnsborrning undersökningsborrning"

1.4 Djupast utförda borrhål m. Var?

1.5 Största möjliga borrhningsdimension Minsta möjliga"

1.6 I vilken utsträckning användes utrustningen (-arna) för huvudsaklig borrhning i

Hård berggrund som granit, gnejs och grönstenar ☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig

Sedimentberggrund som sandsten, skiffer och kalksten

☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig

Jordlager med stenigt, grusigt, sandigt material

☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig

Jordlager med mo, mjäla ("jäslera", "kveg") och lera

☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig

1.7 Gradera följande jord/berglagerförhållanden i borrningsteknisk svårighetsgrad

Ange med siffra i ruta enl ☐ 1 inga ☐ 2 vissa ☐ 3 stora svårigheter

☐ Granit, gnejs, diabas, grönsten o liknande ☐ Morän ("Pinnmo")

☐ Lerskiffer, andra skiffrar ☐ Stenig, grusig sand

☐ Sandsten, hård ☐ Sand och finsand

☐ Sandsten, lös ☐ Mo och mjäla ("jäslera", "kveg")

☐ Kalkstenar

☐ Lera

- 1.8 Om det vid annan borrhning än enligt lag uppgiftsskyldig brunnsborrhning förs någon typ av borrhningsprotokoll, ingår i så fall något av följande (markera med x)
- ☐ Uppg om lagerföljd ☐ Uppg om vattenförande lagers kapacitet
- ☐ Uppg om borrsjunksningshastighet ☐ Uppg om grundvattennivåer
- ☐ Uppg om sprickighet ☐ Uppg om olika lagers hårdhet
- 1.9 Då borrsjunksprover erfordras tas dessa med (ange med x)
- ☐ slam- eller sandpump ☐ spolat eller blåses upp
- ☐ annan provtagare (v g ange)
- 1.10 Användes någon gång s k "polygripskopa"? ☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig
- 1.11 Användes för provtagning kärnprovtagare? (Med kärnprovtagare menas alla typer av tub- eller rörkonstruktioner för upptagning av s k ostörda kärnprov).
- ☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig
- Om ja, i vilka formationer är, enligt Er bedömning, kärnprovtagning möjlig? (ange med x i ruta)
- ☐ fast hårt berg ☐ sand och grus ☐ mo/mjåla ("jåslera", "kveg")
- ☐ lst berg ☐ sand och fin- ☐ lera
- sand

FÖR ER MED UTRUSTNING FÖR:

- 2 ROTATIONSBORRHNING
- 2.1 De under 1976 gjorda borrhningarna har utförts i samband med (ange ungefärligt antal i ruta)
- ☐ "normal" brunnsborrhning ☐ underskningsborrhning fr vattentäkt
- ☐ underskningsborrhning för annat ändamål, (ange)
- 2.2 Andelen underskningsborrhning har under 1976 i omfattning (markera med x)
- ☐ ökat ☐ minskat ☐ r ungefär samma jämfört med 1971
- 2.3 Vanligaste dimension vid brunnsborrhning Underskningsborrhning
- 2.4 Djupast utförda borrhål m. Var?
- 2.5 Största möjliga borrhningsdimension Minsta möjliga

- 6 I vilken utsträckning användes utrustningen(-arna) för huvudsaklig borrhning i nedanstående formationer (ange med x). Härvid "spolas" med:

	ofta	sällan	aldrig	vätska	luft	skum
Hård berggrund som granit, gnejs och grönsten	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sedimentberggrund som sandsten, skiffer, kalksten	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Jordlager med stenigt, grusigt, sandigt material	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Jordlager med mo/mjåla ("jåslera", "kveg") och lera	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- 7 Om det vid annan borrhning ån enligt lag uppgiftsskyldig brunnsborrhning förs någon typ av borrhningsprotokoll, ingår i så fall något av följande (markera med x)

☐ Uppg om lagerföljd	☐ Uppg om vattenförande lagers kapacitet
☐ Uppg om borrhjunkningshastighet	☐ Uppg om grundvattennivåer
☐ Uppg om sprickighet	☐ Uppg om olika lagers hårdhet

D BORRNING MED SPOLNING

- 8 Har det vid undersåkningsborrhning någon gång utförts systematisk (ange med x)

☐ borrhjunkningsmåtning	☐ spolförlustmåtning
--	---

- 9 Då provtagning av borrhslam erfordras, tas proverna (markera med x)

☐ i skopa, spann eller liknande direkt vid "spolstrålen"
☐ i siktnåt eller liknande direkt vid "spolstrålen"
☐ från sedimentstationskar, -bassång, -rånna
☐ annat (v g ange)

- 10 Användes för provtagning kärnprovtagare? (Med kärnprovtagare menas alla typer av tub- eller rörkonstruktioner för upptagning av s k ostörda kärnprov).

☐ ofta	☐ sällan	☐ aldrig
-------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Om ja, i vilka formationer är, enl Er bedåmning kärnprovtagning möjlig? (ange med x)

☐ fast hårt berg	☐ sand och grus	☐ mo/mjåla ("jåslera", "kveg")
---	--	---

- 2.11 Vid spolförlust eller för stabilisering av borrhägg användes
☐ bentonit \ ☐ annat (ange gärna)
- 2.12 Gradera följande jord/berglagerförhållanden i borrningsteknisk svårighetsgrad
 Ange med siffra i ruta enl ☐ 1 inga ☐ 2 vissa ☐ 3 stora svårigheter
- | | |
|---|---|
| ☐ Granit, gnejs, diabas, grönsten o liknande | ☐ Morän ("Pinnmo") |
| ☐ Lerskiffer, andra skiffrar | ☐ Stenig, grusig sand |
| ☐ Sandsten, hård | ☐ Sand och finsand |
| ☐ Sandsten, lös | ☐ Mo och mjäla ("jäslera", "kveg") |
| ☐ Kalkstenar | ☐ Lera |

VID TRYCKLUFTSBORRNING

- 2.13 Har det vid undersökningsborrning någon gång utförts systematisk borrsjunkningsmätning? ☐ Ja ☐ Nej
- 2.14 Då provtagning av borrsлам erfordras, tas proverna
☐ i skopa, påse eller liknande direkt vid "utblåset"
☐ i siktnät eller liknande direkt vid "utblåset"
☐ från borrsلامhög på mark
☐ annat, v g ange
- 2.15 Användes för provtagning kärnprovtagare? (Med kärnprovtagare menas alla typer av tub- eller rörkonstruktioner för upptagning av s k ostörda kärnprov).
☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig
- Om ja, i vilka formationer är, enligt Er bedömning, kärnprovtagning möjlig? (ange med x)
- | | | |
|---|---|---|
| ☐ fast hårt berg | ☐ sand och grus | ☐ mo/mjäla ("jäslera", "kveg") |
| ☐ löst berg | ☐ sand och finsand | ☐ lera |

16 Gradera följande jord/berglagerförhållanden i borrningsteknisk svårighetsgrad

Ange med siffra i ruta enl ☐ 1 inga ☐ 2 vissa ☐ 3 stora svårigheter

☐ Granit, gnejs, diabas, grönsten o liknande

☐ Morän ("Pinnmo")

☐ Lerskiffer, andra skiffrar

☐ Stenig, grusig sand

☐ Sandsten, hård

☐ Sand och finsand

☐ Sandsten, lös

☐ Mo och mjäla ("jäs-
lera", "kveg")

☐ Kalkstenar

☐ Lera

D AUGERBORRNING (borrning med skruv eller skopa)

17 Utrustningen är ☐ konstruerad för augerborrning

Utrustningen användes ☐ tillfälligtvis för augerborrning

18 För vilka speciella ändamål använder Ni augerborrning (markera med x)

☐ Geoteknisk grundundersökning ☐ Grustäktsundersökning

☐ Grundvattenundersökning ☐ Annat

☐ Hålgörande i mark för pålar el dyl

ÖR ER MED UTRUSTNING FÖR:

RÖRDRIVNING

1 De under 1976 gjorda borrningarna har utförts i samband med (ange ungefärligt antal i ruta)

☐ enklare rörbrunnar ☐ grundvattenundersökning (obs-rör etc)

☐ täktundersökning ☐ andra markundersökningar
(t ex grustäkt)

2 Andelen undersökningsborrning har under 1976 i omfattning (ange med x)

☐ ökat ☐ minskat ☐ är ungefär samma jämfört med 1971

3 Vanligaste dimensionen vid undersökningsborrning"

4 Största möjliga borrhålsdimension" Minsta möjliga"

5 Djupast utförda borrhål m. Var?

- 3.6 I vilken utsträckning användes utrustningen(-arna) för huvudsaklig borrhning i
- | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Lös sandsten, skiffer eller kalk | ☐ ofta | ☐ sällan | ☐ aldrig |
| Stenigt, grusigt åsmaterial | ☐ ofta | ☐ sällan | ☐ aldrig |
| Stenfri grus och sand | ☐ ofta | ☐ sällan | ☐ aldrig |
| Silt (mo/mjåla) och lera | ☐ ofta | ☐ sällan | ☐ aldrig |
| Morån ("Pinnmo") | ☐ ofta | ☐ sällan | ☐ aldrig |
- 3.7 Gradera följande jord- och berglager i borrningsteknisk svårighetsgrad.
 Ange med siffra i ruta enl ☐ 1 inga ☐ 2 vissa ☐ 3 stora svårigheter
- | | |
|--|---|
| ☐ lös kalksten | ☐ sand |
| ☐ lös sandsten | ☐ mo/finsand |
| ☐ stenig, grusig sand | ☐ mo/mjåla ("jåslera", "kveg") |
| ☐ grus | ☐ lera |
| ☐ morån ("Pinnmo") | ☐ morånlera |
- 3.9 Görs systematisk mätning av borrsjunkning, i så fall med
- | | |
|--|---|
| ☐ antal slag/långdenhet | ☐ antal sek (min)/långdenhet |
| ☐ annat, v g ange | |
- 3.10 Vid borrhning för provtagning användes vanligen
- | | |
|---|---|
| ☐ öppet rör | ☐ perforerat öppet rör |
| ☐ specialkonstruerad spets | ☐ perforerat rör, slutet spets |
| ☐ annat, v g ange | |
- 3.11 Vid störd provtagning ☐ blåses ☐ spolat provet upp
- ☐ tas upp med specialkonstruerad provtagare ☐ annat
- 3.12 Användes utrustningen(-arna) för tagning av ostörda prover med någon typ av kärnprovtagare ☐ ofta ☐ sällan ☐ aldrig
 (Med kärnprovtagare menas alla typer av tub- eller rörkonstruktioner för upptagning av s k ostörda kärnprov).
- Om så är fallet, i vilka jordarter är kärnprovtagning, enligt Er bedömning, möjlig (ange med x)
- | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| ☐ löst berg | ☐ grus | ☐ finsand | ☐ lera |
| ☐ stenigt grus | ☐ sand | ☐ mo/mjåla | ☐ morån ("Pinnmo") |

